



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY KRYTU VANY REGULÁTORU

PRODUCTION OF COVER OF REGULATOR TANK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Kudláč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Lukáš Kudláč
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Eva Peterková, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výroby krytu vany regulátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby krytu vany regulátoru. Dílec je rovinný, opatřený otvory a bočními ohyby. Zadaná součást bude vyráběna technologií vysekávání a ohraňování.

Cíle diplomové práce:

1. Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii vysekávání a ohraňování.
2. Návrh postupu výroby, vypracování nastavovacího plánu a výrobního programu vysekávání.
3. Provedení technologických a kontrolních výpočtů.
4. Volba vhodných strojů.
5. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby.

Seznam doporučené literatury:

TSCHÄTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

KUDLÁČ Lukáš: Návrh výroby krytu vany regulátoru.

Diplomová práce pojednává o návrhu výroby plechového krytu ve společnosti Limid Mohelno s.r.o. Součást slouží jako kryt regulačního zařízení kolejových vozidel s pohledovou funkcí a vyrábí se z plechové tabule o tloušťce 1 mm z korozivzdorné oceli ČSN 17 240. Estetický dojem zajišťuje broušený povrch K240. Diplomová práce zahrnuje literární studii a problematiku zvolených technologií, technologické výpočty a volbu strojů včetně nástrojů. Jako nejvhodnější výrobní technologie bylo zvoleno vysekávání na stroji TruPunch 1000 a ohraňování na servo-elektrickém ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100. Na základě zvolené varianty je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení včetně porovnání s dalšími výrobními možnostmi.

Klíčová slova: Plošné tváření, vysekávání, ohraňování, korozivzdorná ocel ČSN 17 240

ABSTRACT

KUDLÁČ Lukáš: Production of Cover of Regulator Tank.

This master's thesis deals with suggestion of production of sheet metal cover in Limid Mohelno s.r.o. Piece serves as cover of regulation device of rail vehicles with visual function and it's manufactured from corrosion-resistant steel ČSN 17 240 with thickness 1 mm. Esthetical impression is ensured by grinded surface K240. The master's thesis includes literary studies and problems of chosen technologies, technological calculations and choice of machines including tools. As the best manufacturing technology was chosen punching on TruPunch 1000 and bending on press brake SafanDarley E-Brake E-100. Technical and economical evaluation was made based on selected technology and compared with another manufacturing options.

Keywords: Sheet metal forming, punching, press-brake bending, corrosion-resistant steel ČSN 17 240

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUDLÁČ, Lukáš. *Návrh výroby krytu vany regulátoru*. Brno, 2017. 73s, 2 výkresy, 21 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh výroby krytu vany regulátoru** vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce. Dále chci také poděkovat kolegům ze společnosti Limid Mohelno s.r.o. za praktické rady a vedení společnosti za umožnění realizace práce. Chci také poděkovat mé nejbližší rodině a přátelům za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI	11
1.1 Představení společnosti	12
1.2 Možnosti výroby	12
2 TECHNOLOGIE VYSEKÁVÁNÍ	15
2.1 Průběh stříhu	15
2.2 Výpočtové vztahy	16
2.2.1 Rozbor napjatosti a deformace	16
2.2.2 Střížná vůle.....	18
2.2.3 Střížná síla a práce.....	18
2.3 Kvalita stříhu	21
2.4 Nástroje pro vysekávání	22
2.4.1 Razník.....	23
2.4.2 Matrice	24
2.4.3 Stěrač.....	25
2.4.4 Ustavovací kroužek	26
2.4.5 Nástrojová kazeta	26
2.5 Vysekávací operace.....	27
2.6 Vysekávací stroje	31
2.6.1 Rám stroje	31
2.6.2 Vysekávací hlava.....	32
2.6.3 Lineární zásobník	33
2.6.4 Pracovní stůl a pohybový systém	33
3 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ.....	35
3.1 Parametry ohýbání.....	37
3.1.1 Určení rozvinutého tvaru.....	37
3.1.2 Odpružení	39
3.1.3 Maximální a minimální poloměr ohybu	40
3.1.4 Ohybová síla a práce	41
3.2 Technologické zásady	42
3.3 Nástroje pro ohraňování	44
3.3.1 Razníky.....	45
3.3.2 Matrice	45
3.3.3 Upínání nástrojů	46
3.4 Ohraňovací stroje	48
3.4.1 Stavba ohraňovacího stroje	48
4 PROCES VÝROBY	51
4.1 Rozvinutý tvar součásti a nástřihový plán.....	51
4.2 Vysekávací proces.....	54
4.2.1 Střížné síly a práce	55
4.3 Ohraňovací proces.....	58
4.3.1 Parametry ohybu	61

5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
5.1	Technické zhodnocení.....	63
5.2	Ekonomické zhodnocení	64
5.2.1	Náklady na materiál	64
5.2.2	Náklady na provoz stroje TruPunch 1000.....	65
5.2.3	Náklady na nástroje	66
5.2.4	Náklady na ohrazení.....	66
5.2.5	Celkové výrobní náklady	67
5.3	Srovnání zvoleného technologického postupu s dalšími variantami	67
5.3.1	Porovnání výsledků	72
6	ZÁVĚRY	73
	Seznam použitých zdrojů	
	Seznam použitých symbolů a zkratk	
	Seznam obrázků	
	Seznam tabulek	
	Seznam příloh	
	Seznam výkresové dokumentace	

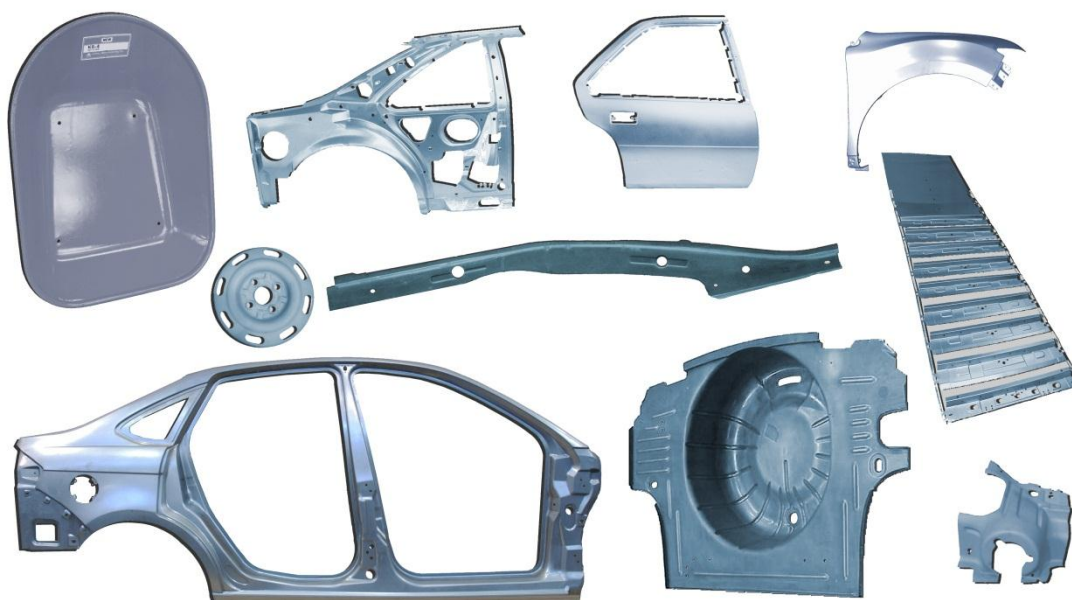
ÚVOD [36, 37]

Jedním z hlavních pilířů ekonomiky je průmysl, kde jednu z nejdůležitějších rolí hraje strojírenství, které zahrnuje široké spektrum technických odvětví, od fyziky, přes matematiku až po materiálové vědy a informační technologie. Především díky využití a skloubení znalostí ze všech odvětví dochází k dalšímu technickému pokroku a zvyšování efektivity. Růst produkce je umožněn především díky aplikaci informačních technologií a automatizace. Proces zvyšování automatizace je zřejmý také ve strojírenské technologii, která se v dnešní době bez využití IT prostředků neobejde.

Všeobecně se strojírenský průmysl dělí na obrábění, slévárenství a tváření. Z ekologických a ekonomických důvodů jsou kladeny velké požadavky na efektivní využití materiálu se současným snižováním nákladů na produkci při zajištění požadované kvality výroby. Tváření tyto podmínky splňuje nejlépe.

Tvářecí technologie jsou charakteristické vysokým využitím materiálu a dělí se na tváření za tepla a za studena, které se dále dělí na objemové a plošné. Plošné tváření se vyznačuje dvouosým přetvořením s minimální změnou tloušťky, zatímco při objemovém tváření je přetvoření trojrozměrné. Plošné tváření se dále dělí na tažení, kovotlačení, stříhání a ohýbání. Tváření je technologií bez porušení materiálu, kdy nedochází k překročení meze pevnosti. Jedinou výjimkou je stříhání, kde napětí přesahuje mez pevnosti, materiál se poruší a dochází k oddělení. Stříhání se zařazuje do tvářecích operací kvůli použití tvářecích strojů.

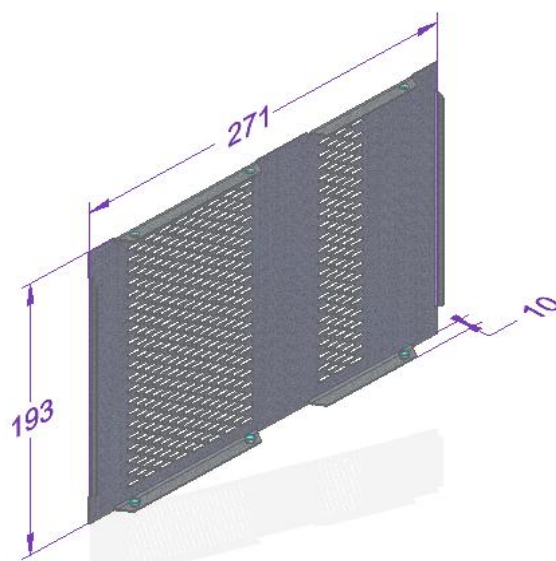
Díky použití CNC strojů mají velký význam technologie vysekávání a ohraňování, což jsou moderní obdoby stříhání respektive ohýbání. CNC řízení zapříčiňuje zvyšování produktivity se současným zvyšováním kvality výrobků. Součásti vyráběné plošným tvářením jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Součásti vyráběné plošným tvářením [35].

1 ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI [9, 14, 21, 23, 24]

Kryt vany regulátoru (obr. 2) je plechová součást vyráběná ve společnosti LIMID Mohelno s.r.o. v malé sérii 1200 ks za rok s výhledem další produkce i v příštích letech. Jedná se o dílec sloužící jako kryt blíže nespecifikovaného regulačního zařízení kolejových vozidel a má pohledovou funkci. Jako nejvhodnější materiál byla zákazníkem zvolena austenitická korozivzdorná ocel s označením dle ČSN 17 240. Polotovarem pro výrobu krytu je za studena válcovaný plech o tloušťce $s = 1$ mm. Pro zajištění estetického dojmu má součást broušený povrch se zrnitostí K240. Vnější rozměry po ohrazení součásti jsou $271 \times 193 \times 10$ mm. Nyní je součást vyráběna technologiemi vysekávání, ohraňování a následně lisování matic M4. Vzhledem k nízké produktivitě lisování matic je uvažováno nahrazení lisovacích matic tvářenými prvky (krčky) s profilem závitu, které plně nahrazují lisovací matice. Pokud zákazník tuto inovaci schválí, bude se dílec vyrábět nově navrženým postupem. Tedy pouze vysekáváním (včetně tvářených krčků) a ohrazením.



Obr. 2 Model Krytu vany regulátoru.

Pro výrobu součásti je použita legovaná, ušlechtilá, austenitická, korozivzdorná ocel ČSN 17 240, ekvivalentní označení této oceli je uvedeno v tab. 1. Jedná se o nestabilizovanou chrom-niklovou ocel. Jejím základními legurami je tedy chrom a nikl, obsah dalších legur a chemické složení je uvedeno v tab. 2. V současnosti je to nejpoužívanější korozivzdorná ocel s velmi dobrou odolností proti korozi. Je odolná vůči vodě, vlhkosti a slabým kyselinám. Je vhodná pro chemické zařízení včetně tlakových nádob a do oxidačních prostředí. Lze ji použít také v prostředí, které vyžaduje vysokou čistotu produktu (potravinářský a farmaceutický průmysl). Ocel je zaručeně svařitelná a má výborné mechanické vlastnosti (díky nízké mezi kluzu R_e je vhodná i pro hluboké tažení), které jsou uvedeny v tab. 3. Nevýhodou této oceli je vysoká cena z důvodu poměrně velkého obsahu drahého niklu.

Pro výrobu součásti je použita legovaná, ušlechtilá, austenitická, korozivzdorná ocel ČSN 17 240, ekvivalentní označení této oceli je uvedeno v tab. 1. Jedná se o nestabilizovanou chrom-niklovou ocel. Jejím základními legurami je tedy chrom a nikl, obsah dalších legur a chemické složení je uvedeno v tab. 2. V současnosti je to nejpoužívanější korozivzdorná ocel s velmi dobrou odolností proti korozi. Je odolná vůči vodě, vlhkosti a slabým kyselinám. Je vhodná pro chemické zařízení včetně tlakových nádob a do oxidačních prostředí. Lze ji použít také v prostředí, které vyžaduje vysokou čistotu produktu (potravinářský a farmaceutický průmysl). Ocel je zaručeně svařitelná a má výborné mechanické vlastnosti (díky nízké mezi kluzu R_e je vhodná i pro hluboké tažení), které jsou uvedeny v tab. 3. Nevýhodou této oceli je vysoká cena z důvodu poměrně velkého obsahu drahého niklu.

Tab. 1 Ekvivalentní označení zadané oceli [24].

Norma	ČSN	DIN	AISI	EN
Označení	17 240	1.4301	AISI 304	X5CrNi 18-10

Tab. 2 Chemické složení oceli 17 240 [24].

Chemické složení						
Uhlík [%]	Mangan [%]	Křemík [%]	Chrom [%]	Nikl [%]	Fosfor [%]	Síra [%]
max. 0,07	max. 2,0	max. 1,0	17,0 ÷ 20	9,0 ÷ 11,5	max. 0,045	max. 0,030

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 17 240 [24].

Mechanické vlastnosti		
Smluvní mez kluzu $R_{p0.2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_5 [%]
min. 186	490 ÷ 686	37

1.1 Představení společnosti [14, 21]

Firma LIMID Mohelno s.r.o. (obr. 3), ve které se zadaná součást vyrábí, je společností s ručením omezeným. Sídlo a výrobní hala se nachází na hranici mezi Jihomoravským krajem a krajem Vysočina v obci Mohelno. V roce 1995, kdy byla firma založena, se společnost zaměřovala pouze na objemové tváření kovů za studena, v dnešní době je toto odvětví spíše okrajové a primárním zaměřením je zpracování plechů. K tomuto účelu jsou využívány technologie řezání laserem, vysekávání a ohraňování. Mezi další důležité technologie, kterými firma disponuje, patří svařování (MIG, MAG, TIG) a třískové obrábění. V současné době má firma přes 30 zaměstnanců, kteří pracují v jednotlivých odděleních (oddělení stříhání a dělení tyčí, nástrojárna, divize laserového pálení a vysekávání, svařovna a obrobna). Strojový park čítá dva CNC lasery TruLaser 3030, hydraulický vysekávací lis TruPunch 1000, hydraulický ohraňovací lis LVD PPEB-5, dva servo-elektrické ohraňovací lisy SafanDarley E-Brake E-100, dvě CNC obráběcí centra HURCO, hydraulický lis SCHMID, klikový lis LEN 63C TOS Kuřim pro objemové tváření kovů za studena, pásovou pilu PEGAS, vibrační odjehovací zařízení SPIRATRON pro omílání keramickými tělisky a automat KOMATSU na dělení tyčí. V rámci evropských dotací byl nově pořízen pulsní svařovací robot Panasonic a také odjehlovací bruska BSM 1300 RRDB. Vzhledem k neustálému rozvoji firmy a nákupu nových technologií se také zvýšily nároky na prostory. Proto byla na jaře 2016 postavena nová hala sloužící jako sklad materiálu a výrobní hala, díky které se otevírají možnosti pro nákup nových technologií. Stávající produkce je směřována především na výrobu pro farmaceutický, automobilový a zbrojní průmysl. Kvalita výrobků je zajištěna díky systému managementu kvality v oboru pálení laserem a zpracování plechu dle ČSN EN ISO 9001:2009.

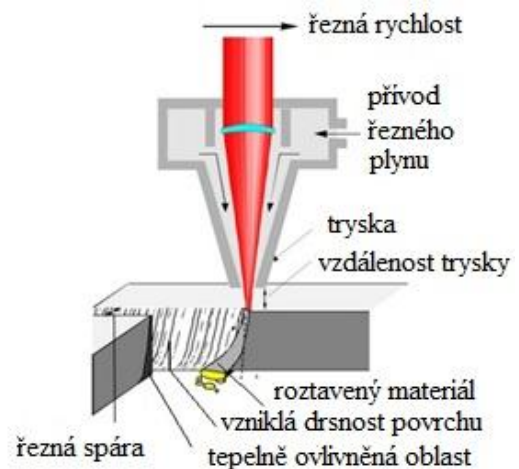


Obr. 3 Logo firmy [21].

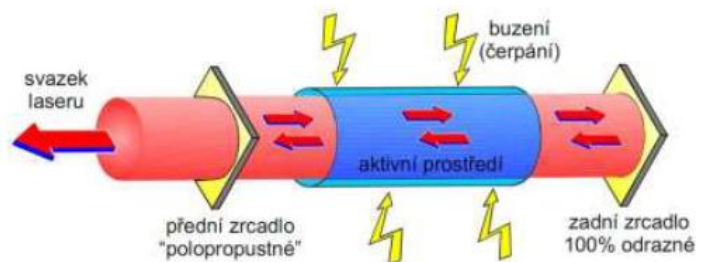
1.2 Možnosti výroby [1, 12, 13, 14, 16, 17, 34]

Zadanou součást je možné vyrábět pomocí několika různých technologií. Vzhledem ke zvolenému polotovaru, ekonomickým aspektům a strojovému parku připadají v úvahu dvě základní technologie výroby. Tím prvním způsobem je technologie laserového řezání, která je vhodná pro tvarové složité dílce zejména z tenkých plechů. Pro větší tloušťky materiálů se ekonomičnost výroby snižuje. Druhou možnou technologií je vysekávání na vysekávacím hydraulickém lisu. Tato technologie je vhodná pro tenké plechy jednodušších tvarů, pro složitější tvary je nutná investice do speciálních nástrojů. Po výrobě rozvinutého tvaru součásti následuje ohraňování dílce. Pro zajištění estetického dojmu je nutné zajistit broušený povrch ve vodorovném směru na vnější straně součásti. Toho je možné docílit použitím plechové tabule s broušeným povrchem, který je ochráněn laserovou PVC folií, která brání poškrábání. Další možností je broušení již vysekaných dílů na odjehlovací brusce BSM 1300 RRDB, která je osazena také brusným pásem. Po případném broušení by následovalo ohraňování součástí. Ve stávajícím výrobním procesu ještě následuje lisování matic M4 (příloha č. 20). Operace lisování odpadá v případě schválení navržené změny zákazníkem. V takovém případě jsou závitky zhotoveny přímo na vysekávacím lisu pomocí speciálních tvářecích nástrojů.

- Laserové řezání: Laser je zkratkou anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což po přeložení do českého jazyka znamená zesílení světla pomocí stimulované emise záření. Základním principem (obr. 4) je přeměna světelné energie na energii tepelnou. Základním prvkem je optický rezonátor (obr. 5) a aktivní prostředí, které je buzeno. Díky tomu je dodávána energie, která je pomocí stimulované emise vyzářena jako laserový paprsek s vysokou hustotou energie. Aktivní prostředí obsahuje atomy, které jsou v základním stavu s nižší energií, nebo ve stavu excitovaném (s vyšší energií). Při přechodu ze stavu excitovaného do základního dochází k emitaci fotonu. K tomu dochází samovolně, díky snaze dosáhnout co nejnižší hladiny energie (stabilní stav). Vlivem buzení je však tento stav porušen a prostředí dosahuje vybuzeného stavu, kdy jsou atomy ve vyšší energetické hladině. Energie dodaná aktivnímu prostředí pak může být přeměněna na laserový svazek. Při dopadu fotonu na vybuzený atom dojde k jeho přesunu do nižší energetické hladiny, při kterém je vyzářen další foton a strhne další fotony, což vyvolá tzv. lavinu. Tento jev se nazývá proces stimulované emise. Pomocí zrcadel v optickém rezonátoru jsou fotony odráženy zpět do aktivního prostředí, kde světlo zesiluje a je vyzářeno jako laserový paprsek. Vyzářený paprsek s vysokou hustotou energie je směřován do malé oblasti na řezaném materiálu, kde se přemění na teplo a dochází k tavení, případně k odpaření materiálu. Laserové řezání se dle použité technologie dělí na:



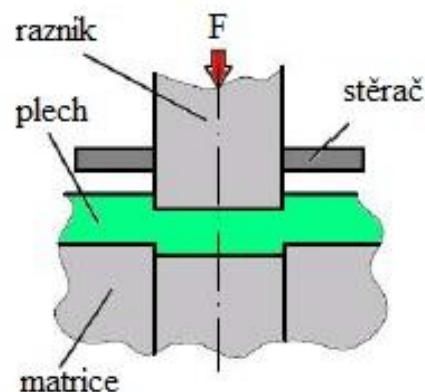
Obr. 4 Řezání laserem [34].



Obr. 5 Optický rezonátor [16].

- Sublimační řezání: řezaný materiál je laserovým paprskem zahřát na teplotu varu a následně je odpařen. Páry kovu jsou z oblasti řezu odváděny proudem pracovního plynu. Tato metoda se používá pro tenké plechy, avšak v dnešní době už je na ústupu.
- Fúzní (tavné) řezání: laserový paprsek zahřeje materiál na teplotu tavení a následně pracovní inertní plyn (N_2) vyfoukne taveninu z řezné spáry. Natavený materiál je nutno odvádět pod vysokým tlakem jinak dochází k přilnutí taveniny ve spodní části řezu. Metoda tavného řezání je používána pro vysokolegované oceli a slitiny titanu. Povrch řezu je kvalitní a není zoxidovaný.
- Oxidační řezání: Pracovním plynem při oxidačním řezání je kyslík (O_2), který reaguje s roztaveným kovem, vzniká exotermická reakce a dochází k dalšímu ohřevu par a taveniny, které jsou poté plynem odstraněny. Tato metoda se používá pro nelegované až středně legované oceli. Plocha řezu je hladká a zoxidovaná.

- Vysekávání: Technologie vysekávání je moderní obdobou klasického stříhání. Pro výrobu plechových součástí je použit CNC hydraulický vysekávací lis. K dělení materiálu dochází při pohybu razníku směrem do matrice a funkci přidržovače plní stěrač, který zajišťuje také stírání. Princip vysekávání je znázorněn na obr. 6. Konstrukce umožňuje otáčení nástroje kolem své osy, díky čemuž lze vysekat jak díry a tvarové otvory, tak i vnější obrysy. Výrobce také nabízí širokou škálu nástrojů, které umožňují různé typy tváření. Díky tomu lze na jednom stroji při jednom upnutí vyrábět poměrně složité tvarované dílce. Výhodou je vysoká flexibilita ve srovnání s klasickým stříháním, proto je vysekávání vhodné i pro kusovou výrobu a možnost zpracování různých druhů materiálu a výroba dílů bez tepelně ovlivněné oblasti. Nevýhodou je nutná velká investice, velká instalační plocha stroje a nutnost proškolení personálu.



Obr. 6 Princip vysekávání [12].

Vzhledem ke strojovému parku, vlastnostem vyráběné součásti a velikosti série bylo vysekávání na stroji TruPunch 1000 (obr. 7) určeno jako nejvhodnější technologie pro výrobu rozvinutého tvaru součásti. Dalším aspektem vstupujícím do volby technologie byla ekonomičnost výroby. Porovnání nákladů na výrobu při vysekávání a laserovém pálení je uvedeno v kapitole 5. Po vysekání dílce následuje ohraňování na servo-elektrickém ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100 (obr. 8). Výchozím polotovarem pro výrobu součásti byla zvolena plechová tabule středního formátu (2500 × 1250 mm) s broušeným povrchem a ochrannou PVC folií, čímž odpadá operace broušení povrchu na odjehlovací brusce BSM 1300 RRDB. Vzhledem ke schválení navržené změny zákazníkem bude dále uvažováno s nově navrženým postupem, kdy jsou závitové prvky vytvořeny přímo na vysekávacím lisu. Porovnání s původní výrobní variantou je uvedeno v kapitole 5.



Obr. 7 Vysekávací lis TruPunch 1000 [44].



Obr. 8 Ohraňovací lis SafanDarley E-Brake E-100.

2 TECHNOLOGIE VYSEKÁVÁNÍ [20, 29, 33, 46]

Vysekávání je moderní obdobou stříhání a patří mezi technologie plošného tváření, kde vzniká dvouosá napjatost. Na rozdíl od jiných tvářecích procesů zde dochází k porušení materiálu, což se vymyká základním parametrům tváření. Avšak stříhání se provádí na tvářecích strojích, a proto se počítá mezi tvářecí technologie. Charakteristickým rysem je použitý polotovar, kterým je zpravidla plechová tabule, pás, případně svitek. K dělení materiálu dochází vlivem působení nástroje (razník a matrice) na materiál a probíhá výhradně za studena. Vysekávání je v dnešní době jednou z nejrozšířenějších technologií plošného dělení. Vysekávací stroje je možné využít nejen pro vystřížení rozvinutých tvarů součástí, ale také pro tvářecí a dokončovací operace plechových dílů.

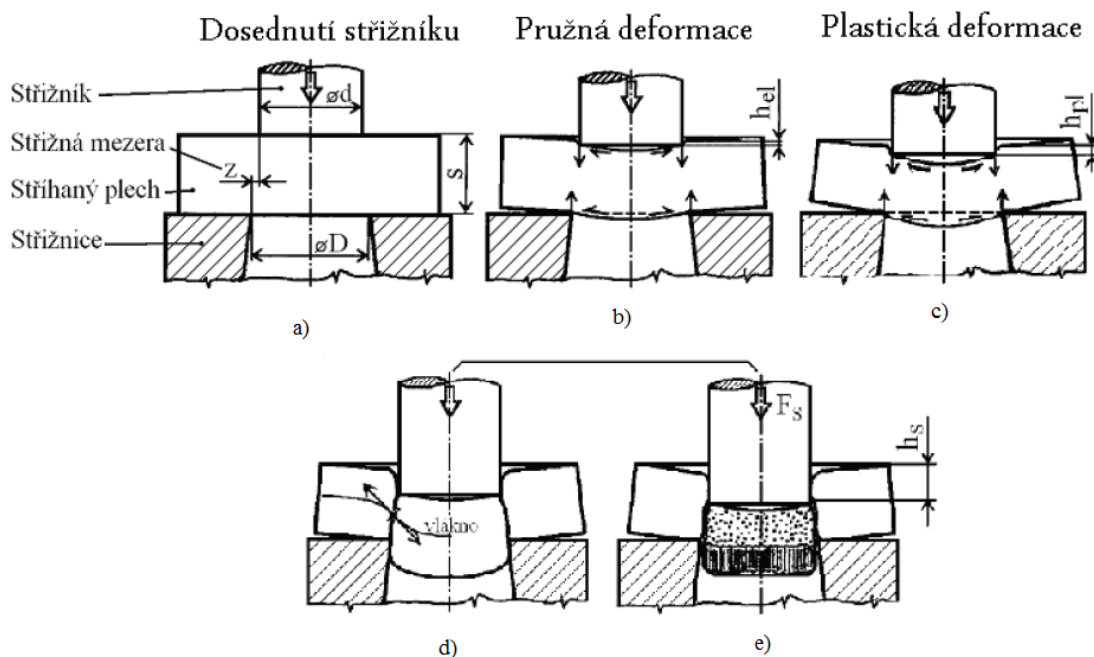
2.1 Průběh stříhu [1, 2, 11, 20, 29, 46]

Dělení materiálu při vysekávání probíhá stejně jako při klasickém stříhání, proto se používá také stejná terminologie. Při vlastním stříhu vzniká napětí přesahující mez pevnosti R_m a dochází k porušení soudržnosti materiálu, což nesplňuje základní definici tvářecích procesů. Síly, které působí na protilehlé hrany nástroje (obr. 9), generují ve střížné rovině materiálu smykové napětí a podél hrany nástroje dochází k oddělení materiálu. Střížný proces se dělí na tři fáze (obr. 10).



Obr. 9 Razník a matrice [31].

První fáze (obr. 10b) probíhá v elastické oblasti, vyskytují se zde pouze pružné deformace a napětí v materiálu je nižší než mez úměrnosti. Její překročení nastává v závislosti na mechanických vlastnostech ve vzdálenosti $h_{el} = 0,05 \div 0,08 s$.



Obr. 10 Fáze střížného procesu [11].

Plastické deformace nastávají na počátku druhé fáze (obr. 10c), razník tlačí materiál do otvoru v matici a napětí přesahuje mez kluzu. K dosažení napětí na mezi pevnosti ve stříhu τ_s dochází na konci druhé fáze. Hloubka plastického vniknutí je v závislosti na mechanických vlastnostech $h_{pl} = 0,1 \div 0,25$ s.

Ve třetí fázi stoupá napětí nad mez pevnosti ve stříhu τ_s a dochází k iniciaci mikrotrhlin – nástřihu (obr. 10d). Trhliny se dále šíří, až dojde k oddělení materiálu – stříhu (obr. 10e). Rychlost šíření trhlin je závislá na mechanických vlastnostech a na velikosti střížné vůle 'v'. Hloubka vniknutí razníku, při kterém se oddělí materiál, je 10 % (tvrdé materiály) až 60 % (houževnaté materiály) tloušťky plechu.

2.2 Výpočtové vztahy [11, 46]

Do procesu stříhání vstupuje mnoho parametrů, mezi které patří vlastnosti materiálu, tloušťka materiálu, velikost střížné vůle, opotřebení nástroje a jiné. Pro zajištění požadované kvality stříhu je vhodné dodržovat určité podmínky.

2.2.1 Rozbor napjatosti a deformace [10, 11, 20, 39, 46]

Stříhání je považováno za technologii plošného tváření, kde nastává rovinný stav deformace, tento předpoklad je dán vztahem (2.1), odkud plyne vztah (2.2) pro střední napětí σ_2 . Výzkumem napětí na břitě nástroje v okamžiku lomu bylo zjištěno, že $\sigma_2 \approx 0$. Z toho plyne, že proces probíhá při rovinném stavu deformace a platí vztah (2.3). Avšak toto platí pouze pro volné stříhání, kdy je křivka stříhu neuzavřená.

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{ef}}{\sigma_{ef}} \cdot \left[\sigma_2 - \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0, \quad (2.1)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) \approx 0, \quad (2.2)$$

$$\sigma_3 = \frac{-1}{2} \cdot \sigma_1, \quad (2.3)$$

kde: ε_i [-]...poměrná deformace,

ε_{ef} [-]...efektivní deformace,

σ_{ef} [MPa]...efektivní napětí,

σ_i [MPa]...hlavní napětí.

Dosazením těchto předpokladů do podmínky plasticity HMM (2.4) se získá vztah pro hlavní tahové napětí σ_1 (2.5). Pro oddělení materiálu je nutné porušit celistvost materiálu, proto musí přetvárný odpor překonat mez pevnosti v tahu, z toho vyplývá rovnice (2.6). Dosazením do předešlého vztahu se dostane výsledný tvar střížného napětí (2.7). Střížné napětí τ_s je zároveň střížným odporem (2.8) a působí proti deformaci a oddělení materiálu.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = \sigma_k, \quad (2.4)$$

$$\sigma_1 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \cdot \sigma_p \approx 0,77 \cdot \sigma_p, \quad (2.5)$$

$$\sigma_p = R_m, \quad (2.6)$$

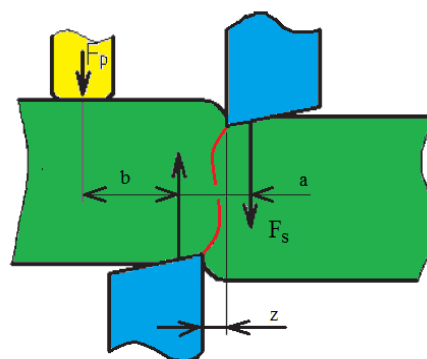
$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m, \quad (2.7)$$

$$\tau_s = \frac{F_s}{S}, \quad (2.8)$$

kde: σ_k [MPa]...prvotní mez kluzu,
 σ_p [MPa]...přetvárný odpor,
 R_m [MPa]...mez pevnosti v tahu,
 τ_s [MPa]...střížné napětí,
 F_s [N]...střížná síla,
 S [mm²]... obsah střížné plochy.

Většina literatury uvádí, že pevnost ve stříhu je $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$, což přibližně odpovídá výše uvedenému vztahu. V praxi dle mechanických vlastností autoři uvádí, že $\tau_s = (0,5 \div 0,9) \cdot R_m$.

Na obr. 11 je znázorněno schéma volného stříhání. Střížná mezera vytváří mezi působišti střížné síly rameno a vzniká ohybový moment, který je uveden do rovnováhy pomocí přidržovací síly. Bez přidržovače může dojít k přetočení plechu a vklínění mezi nože. Při uzavřeném stříhání (střížná hrana nástroje je uzavřená křivka) je ohybový moment vyvážen, ale může způsobit plastické deformace, které jsou nežádoucí. Schéma napjatosti a deformace uzavřeného stříhání je znázorněno na obr. 12. V místě střížné hrany (bod A) je největší hlavní tahové napětí σ_1 . V tomto bodě bylo pomocí praktických zkoušek zjištěno, že tlakové napětí $\sigma_3 \approx -1/2 \cdot \sigma_1$. Z toho plyne vztah pro maximální střížné napětí τ_{max} (2.9) a pro normálové napětí σ_n (2.10). Z Mohrových kružnic je zřejmé, že kolmo na τ_{max} působí kladné σ_n , které způsobuje rozevírání trhlin a vlivem natáčení roviny vzniká typická 'S' křivka.

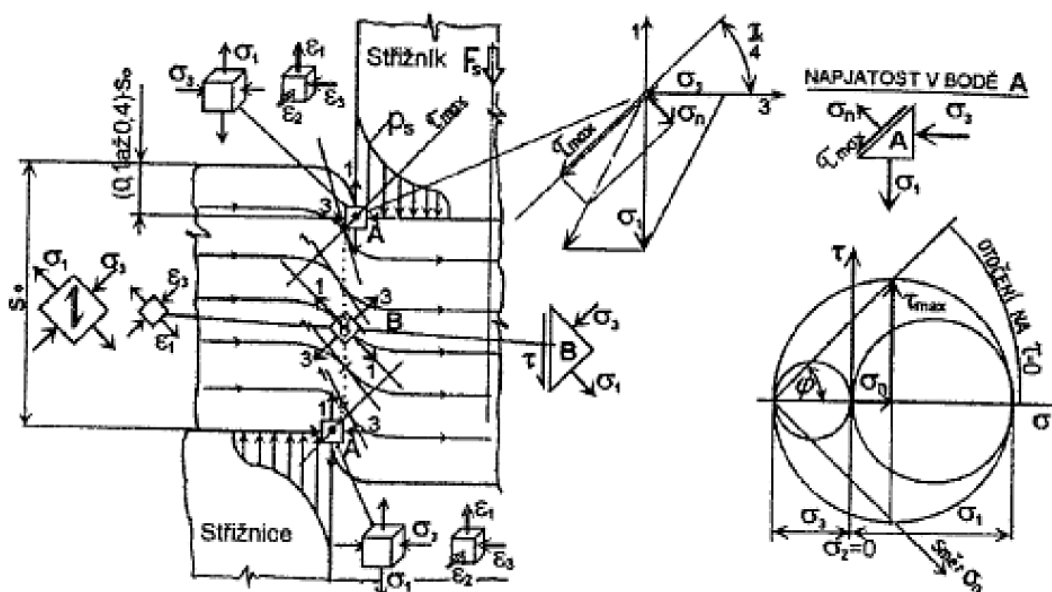


Obr. 11 Schéma volného stříhu [11].

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{-3}{2} \cdot \sigma_3, \quad (2.9)$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \quad (2.10)$$

kde: τ_{max} [MPa]...maximální střížné napětí,
 σ_n [MPa]...normálové napětí.



Obr. 12 Schéma napjatosti při uzavřeném stříhání [11].

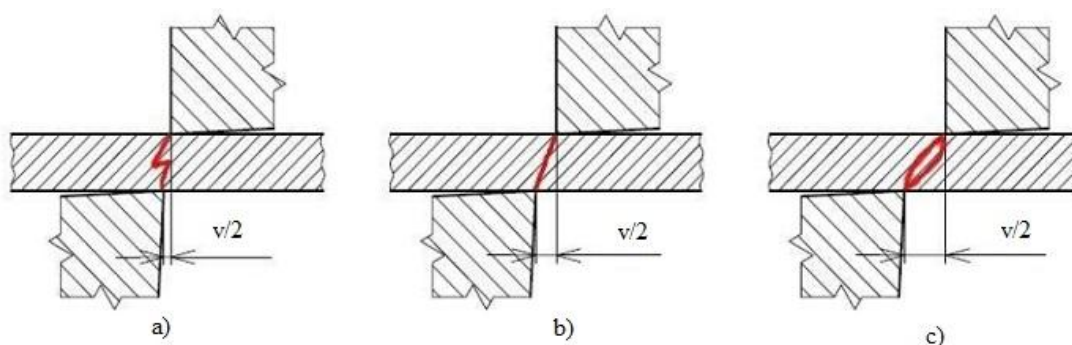
2.2.2 Střížná vůle [1, 2, 6, 10, 11, 46]

Při stříhání se správnou vůlí se trhliny po nástřihu šíří tak, že se v okamžiku stříhu setkají (obr. 13b). V případě špatné střížné vůle (obr. 13a, obr. 13c) se tyto trhliny nesetkají a plocha stříhu je nekvalitní, zároveň také dochází ke snížení životnosti nástroje a zvýšení spotřeby energie. Střížná vůle je dvojnásobkem střížné mezery, jinak řečeno je rozdílem mezi rozměry střížníku a střížnice. Matematický zápis je uveden ve vztahu (2.11).

$$v = 2 \cdot z, \quad (2.11)$$

kde: v [mm]...střížná vůle,

z [mm]...velikost střížné mezery.



Obr. 13 Velikost střížné vůle [40].

Střížná vůle je závislá na tloušťce materiálu a jeho mechanických vlastnostech. Při správné střížné vůli (tab. 4) lze dosáhnout kvalitní střížné plochy s použitím nejmenší střížné síly.

Tab. 4 Střížná vůle pro jednotlivé materiály [2].

	materiál	ocel měkká	ocel tvrdá	hliník	dural	měď	mosaz
střížná vůle [% s]	do 2,5 mm	5	7 ÷ 9	4 ÷ 7	7 ÷ 8	4 ÷ 7	4 ÷ 6
	2,5 ÷ 6 mm	7 ÷ 8	7 ÷ 10	5 ÷ 9	7 ÷ 10	5 ÷ 7	4 ÷ 7

Stanovit střížnou vůli lze také empirickým výpočtem dle Oehlera. Pro tenké plechy (do 3 mm) je využíván vztah (2.12), pro silné plechy (nad 3 mm) pak platí vztah (2.13):

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.12)$$

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{(0,55 \div 0,9) \cdot R_m},$$

$$v = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{(0,55 \div 0,9) \cdot R_m}, \quad (2.13)$$

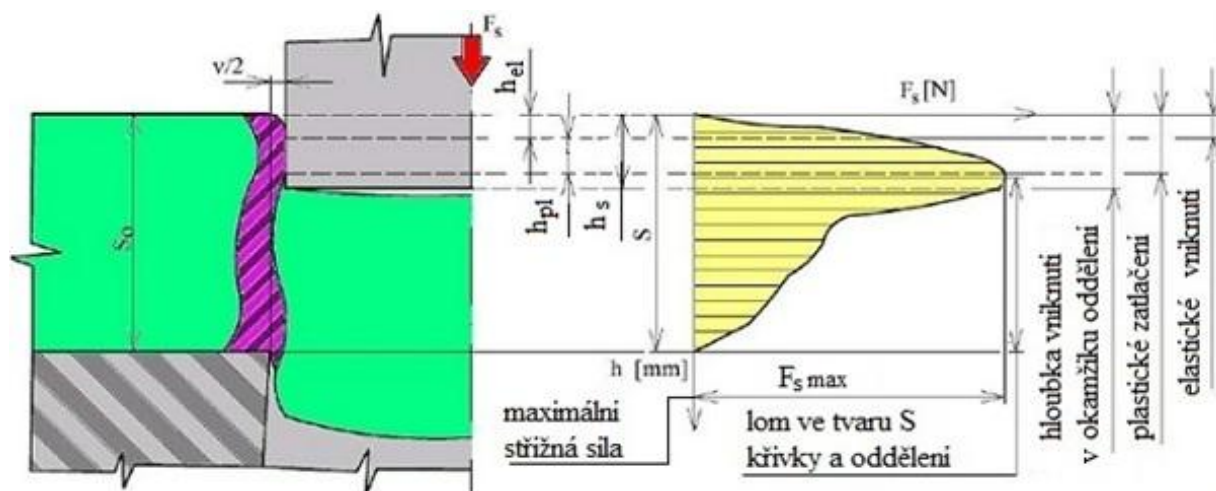
kde: c [-]... součinitel závislý na stupni stříhu ($c=0,005 \div 0,025$),

s [mm]... tloušťka plechu.

2.2.3 Střížná síla a práce [1, 2, 11, 19, 29, 32, 46]

Jedním z nejdůležitějších parametrů stříhání je střížná síla. Dle její velikosti se také posuzuje vhodnost určitého stroje pro danou operaci. Síla potřebná pro oddělení materiálu nesmí překročit maximální dovolenou sílu stroje, v případě překročení této hodnoty hrozí poškození stroje eventuálně nástroje. Velikost střížné síly je výrazně ovlivněna mechanickými vlastnostmi a tloušťkou stříhaného materiálu, velikostí vůle a geometrie nástroje.

Charakteristický průběh střižné síly v závislosti na hloubce vniknutí nástroje je znázorněn na obr. 14. Po elastické deformaci (napěchování) kovu pod břitem střižníku dochází k plastické deformaci (přetvoření), dále dochází k nárůstu síly vlivem lokálního zpevnění materiálu. Po překonání oblasti plastických deformací procesu vznikají a šíří se první trhliny. Ty jsou doprovázeny mírným poklesem síly až do hloubky vniknutí h_s , kde dochází k úplnému porušení lomem ve tvaru 'S' křivky. V dalším průběhu je výstřižek oddělen a střižná síla výrazně klesá. Vlivem tření mezi plochami nástroje a výstřižku je snížena rychlost poklesu střižné síly.



Obr. 14 Střižná síla [11].

Výsledná celková síla (2.14), kterou musí stroj překonat, je součtem všech sil, které do střižného procesu vstupují. Z bezpečnostního hlediska je střižná síla zpravidla volena o 20 % vyšší kvůli opotřebení nástroje a nehomogenitám materiálu. Její velikost je uvedena ve vztahu (2.15).

$$F_c = F_s + F_{pr} + F_{st}, \quad (2.14)$$

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s, \quad (2.15)$$

kde: F_c [N]...celková síla,

F_s [N]...střižná síla,

F_{pr} [N]...protlačovací síla,

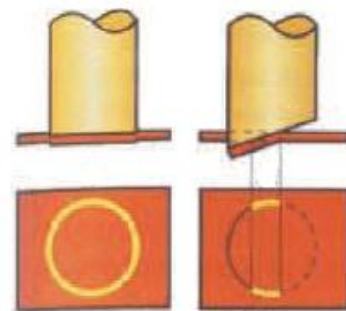
F_{st} [N]...stírací síla,

n [-]...koeficient otupení nástroje a nehomogenit materiálu ($n = 1,1 \div 1,3$),

S [mm²]...střižná plocha,

l_s [mm]...délka střižné křivky.

V případě vysokých hodnot lze výslednou střižnou sílu ponížit použitím nástroje se zkoseným čelem. Díky tomu je při stříhu v záběru vždy jen určitá část nástroje (obr. 15), což nám zajistí rozložení síly do většího časového úseku s nižší maximální hodnotou. Tímto způsobem redukovaná střižná síla je dána vztahem (2.16). Hodnoty faktoru zešíkmení jsou uvedeny v příloze č. 1.



Obr. 15 Délka stříhu [19].

$$F_{sx} = \frac{F_s}{X} = \frac{n \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s}{X}, \quad (2.16)$$

kde: F_{sx} [N]...redukovaná střížná síla,

X [-]...faktor zešikmení ($X = 1 \div 3,5$).

Stírací síla je definována vztahem (2.17) a protlačovací síla je uvedena ve vztahu (2.18). Koeficienty vstupující do těchto vztahů jsou závislé na mechanických vlastnostech a tloušťce materiálu. Hodnoty koeficientů jsou uvedeny v tab. 5.

$$F_{st} = F_s \cdot c_1, \quad (2.17)$$

$$F_{pr} = F_s \cdot c_2, \quad (2.18)$$

kde: c_1 [-]...koeficient stírání,

c_2 [-]...koeficient protlačování.

Tab. 5 Koeficient stírání a protlačování [6].

Materiál	s [mm]	c_1 [-]	c_2 [-]
ocel	0 - 1	0,02 - 0,12	0,005 - 0,08
	1 - 5	0,06 - 0,16	
	5 a více	0,08 - 0,20	
mosaz	-	0,06 - 0,07	0,04
slitiny hliníku	-	0,09	0,02 - 0,04

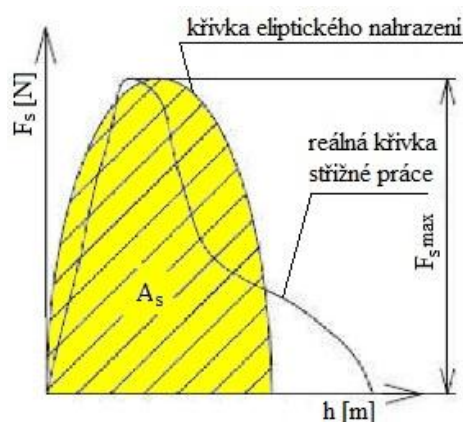
Práce je dána plochou pod křivkou střížné síly. Její vyjádření je uvedeno ve vztahu (2.19), vzhledem ke složitosti přesného výpočtu je využíván vztah (2.20), kdy je silová křivka elipticky nahrazena (obr. 16).

Hlavní poloosou je maximální střížná síla F_{smax} a vedlejší poloosou hloubka vniknutí 'h'. Součinitel plnosti λ vstupující do vztahu (2.20) je závislý na mechanických vlastnostech materiálu a lze jej graficky určit pomocí obr. 17.

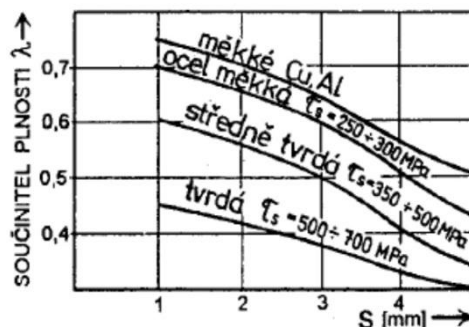
$$A_s = \int F_s \cdot dh, \quad (2.19)$$

$$A_s = F_{smax} \cdot h \cdot \lambda, \quad (2.20)$$

kde: A_s [J]... střížná práce,
 h [mm]... hloubka vniknutí razníku,
 F_{smax} [N]... maximální střížná síla,
 λ [-]...součinitel plnosti.



Obr. 16 Střížná práce [1].



Obr. 17 Součinitel plnosti λ [11].

2.3 Kvalita stříhu [1, 2, 7, 11, 39, 46]

Kvalita střížné plochy je závislá na mechanických vlastnostech materiálu (se zvyšující se tvrdostí klesá kvalita plochy), velikosti vŕle a opotřebení nástroje. Střížný proces provázejí deformace stříhaného materiálu, výsledkem je specifický tvar střížné plochy (obr. 18) s jednotlivými oblastmi. Pásmo zeslabení (a) je způsobeno napěchováním materiálu pod čelem nástroje. Nejvyšší přesnosti dosahuje pásmo plastických deformací, kde je kov plasticky deformován ve směru pohybu nástroje. Počátek oblasti lomu (c) nastává při vzniku prvních trhlin a dochází k prohloubení, které vytváří typickou ‘S’ křivku. Další oblastí je pásmo otěru (d), která vzniká třením nástroje a materiálu. Na spodním okraji střížné plochy je otisk (vzniká vtlačením materiálu do střížnic) a otřep (f), který roste se zvětšujícím se otupením nástroje. Plastické deformace způsobují zpevnění (oblast e). Kvůli možnému vyčerpání plasticity by mohlo v této zpevněné oblasti docházet k iniciaci trhlin při dalším tváření. V případě potřeby je možné tomuto problému předejít pomocí tepelného zpracování.

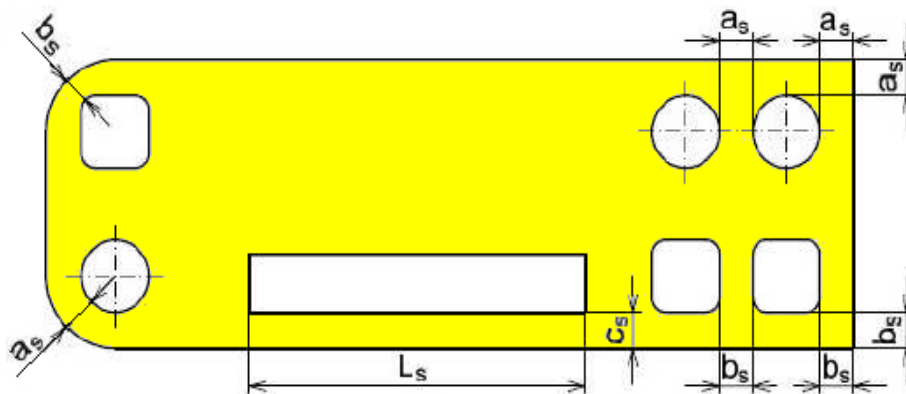
Dosažitelná přesnost při běžném stříhání je $IT\ 12 \div IT\ 14$. Vyšší přesnosti ($IT\ 9 \div 11$) lze dosáhnout použitím přesnějších nástrojů s vodícími stojánky. Maximální dosažitelné přesnosti ($IT\ 8$) lze docílit s použitím speciálních nástrojů pro přesné stříhání.

Obecně přesnost výstřižků závisí na mnoha faktorech. Velký vliv má tuhost, přesnost a stav stroje, dále otupení a přesnost nástroje (tab. 6). Dalšími faktory jsou mechanické vlastnosti a tloušťka materiálu, střížná vŕle a zvolená metoda stříhání.

Tab. 6 Výrobní tolerance nástroje a výrobku [2].

Tolerance IT nástroje	5-6	6-7	7-8	8-9	10	11	12
Tolerance IT výrobku	8-9	10	11	12	13	14	15

Pro zajištění kvality a plynulého chodu výroby je vhodné dodržovat určitá pravidla. Nepředepisovat drsnost a kolmost střížných ploch, vyhýbat se definování rovinnosti, dále nesnižovat výrobní tolerance rozměrů a polohy děr. Pokud je to možné, upřednostnit kruhové otvory před nekruhovými a dodržovat podmínky minimálních rozměrů otvorů (tab. 7), vzdáleností mezi otvory a vzdáleností otvorů od okraje plechu (obr. 19). Tyto parametry v závislosti na tloušťce polotovaru jsou uvedeny v tab. 8.



Obr. 19 Technologičnost výstřižku [1].

Tab. 7 Technologické parametry výstřižku [6].

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování s vedeným střížníkem	
	Průměr díry [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]	Průměr díry [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]
Měkká ocel	1·s	0,8·s	0,35·s	0,3·s
Tvrdá ocel	1,5·s	1,2·s	0,5·s	0,4·s
Hliník	0,8·s	0,6·s	0,3·s	0,25·s
Měď	1·s	0,8·s	0,35·s	0,3·s

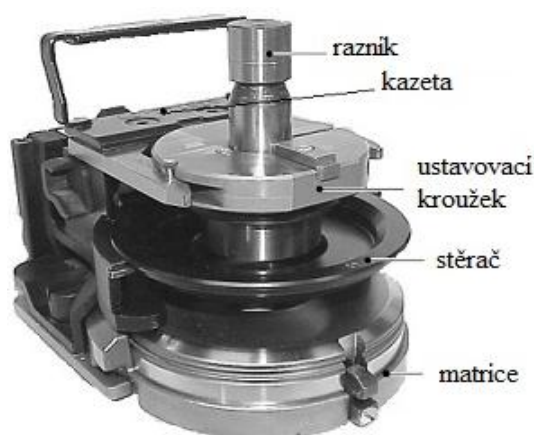
Tab. 8 Minimální rozměry otvorů výstřižků [6].

Tloušťka plechu s [mm]	Rozměr a _s [mm]	Rozměr b _s [mm]	Šířka c _s pro délku drážky L _s [mm]			
			5÷50	50÷100	100÷200	>200
< 1	1	2,5	3	8	13	20
1 ÷ 1,6	2,4	3,5	4,5	8	13	20
1,6 ÷ 2	3	4	6	10	14	25
2 ÷ 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 ÷ 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 ÷ 4	6	6	9	13	20	28
4 ÷ 5	7	8	10	16	20	32

Pokud není možné dodržet tyto doporučené hodnoty, je nutné řešit konkrétní problém konstrukční úpravou dílce nebo pozměnit výrobní technologii, případně volit speciální nástroj, který umožní dosažení požadovaných výsledků.

2.4 Nástroje pro vysekávání [14, 29, 31, 32]

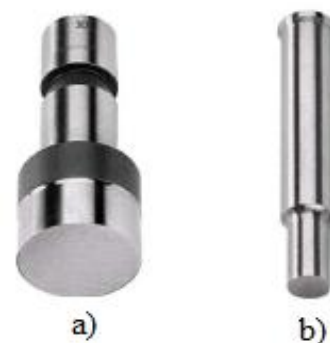
Vysekávací nástroj se skládá z razníku (horní část), matrice (dolní část), stěrače a ustavovacího kroužku. Jednotlivé části jsou upevněny v nástrojové kazetě, která po kompletním osazení tvoří nástrojovou sestavu (obr. 20). Obvykle je razník pohyblivý a matrice pevná, avšak je možná i varianta pevného razníku a pohyblivé matrice, kdy je nutné provést zdvih směrem nahoru. Vysekávací stroje poskytují mnoho možností, s jejich pomocí je možné provádět děrovací, dělicí, tvářecí, popisovací a odjehlovací operace. K výrobě otvorů a tvarových křivek slouží děrovací a dělicí nástroje. Tvářecí nástroje slouží k výrobě různých variant prolisů, ale také k ohýbání a k výrobě závitových krčků. Další skupinou jsou nástroje popisovací, ty slouží k označení a popisu dílců. Poslední skupinou jsou nástroje válečkovací, které slouží k odjehlení výstřižků. Popis jednotlivých nástrojových skupin a jejich funkce je uvedena v kapitole 2.5. Zvolenému razníku vždy odpovídá tvar matrice a stěrače. Dle velikosti jsou razníky rozděleny do skupin 0, I, II a 5.



Obr. 20 Nástrojová sestava [29].

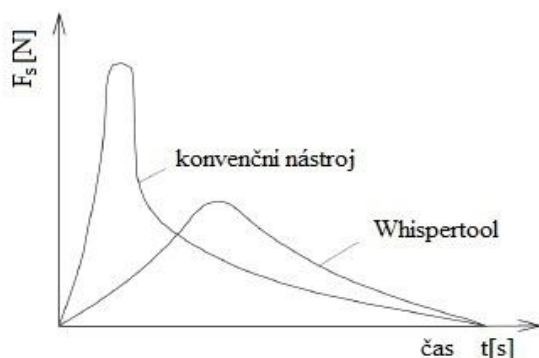
2.4.1 Razník [14, 29, 31]

Horní část nástroje se nazývá razník. Obvykle se vyrábí z rychlořezné oceli v mnoha odlišných tvarech a velikostech. Pro zvýšení trvanlivosti se nástroje povlakuji speciálními povlaky (např. TiCN). Zesílené razníky (obr. 21a) jsou používány pro větší tloušťky plechu a materiály s vyšší pevností. Razníky běžné konstrukce jsou určeny pro střední tloušťky materiálů obvyklých pevností. Jehlové razníky se používají pro výrobu menších otvorů ($0,5 \div 6$ mm) do tenkých plechů (obr. 21b). Nástroje jsou vyráběny v mnoha tvarových provedeních, od kruhu přes čtverec až po tvarové kontury specifických tvarů. V případě speciálních nástrojů, které nejsou ve standardní nabídce, je nutná výroba na objednávku.

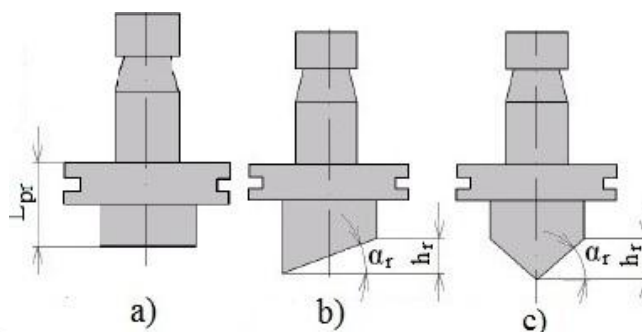


Obr. 21 Razníky [31].

Efektivitu výroby je možné zvýšit úpravou geometrie čela razníku, čímž lze dosáhnout snížení střížné síly (až o 72 %). Nabízí se dvě varianty úpravy čela: šikmé zbroušení - WhisperTool (obr. 23b) nebo zbroušení do střechy (obr. 23c). Nástroj vniká do materiálu pomaleji a střížná síla narůstá pozvolna během delšího času (obr. 22). Dalším benefitem je pokles hluku (až o 50 %) a úbytek vnitřních napětí ve vyrobeném dílci, díky snížení rázů. Zkosené razníky je výhodné použít zejména pro tlusté plechy a materiály s vysokou pevností. Úhel zbroušení ' α_r ' je konstantní pro razníky do průměru 35 mm ($\alpha_r = 5^\circ$), pro větší průměry je konstantní výška zbroušení ($h_r = 3$ mm). Délka razníku je měřena od ustavovacího kroužku k pracovnímu čelu. Ploché razníky jsou dodávány v krátkém provedení ($L_{pr} = 34,3$ mm) a v dlouhém provedení ($L_{pr} = 37,8$ mm). Pracovní délka zkosených razníků je zpravidla 37,3 mm. Výhodou delší pracovní části je možnost odbroušení až 6,5 mm, zatímco u krátkého provedení a zkosených razníků je to pouze 3 mm. Je pravidlem, že šířka razníku musí být stejná nebo větší než tloušťka stříhaného plechu. Pokud je razník užší, je nutné použít nástroj s vodící jehlou.



Obr. 22 Porovnání průběhu střížné síly [31].



Obr. 23 Geometrie čela razníku [31].

2.4.2 Matrice [14, 29, 31]

Spodní část nástroje se nazývá matrice (obr. 24) a má negativní tvar razníku. Při pohybu razníku směrem k matrici se působením protiběžných sil materiál oddělí a odchází jako odpad otvorem v matrici do odpadového zásobníku. Matrice jsou vyráběny ve standardním nebo zesíleném provedení. Dle konstrukce má matrice \varnothing 77 nebo 62 mm a výšku $18 \div 29$ mm. Matrice také podléhá vlivům opotřebení, proto je nutné ji po dosažení trvanlivosti přebrousit. Maximálně lze však matrici přebrousit o 1 mm, což je hranice životnosti, protože při nadměrném zeslabení matrice může dojít k prasknutí. Patentovaný systém Trumpf EasyUse (obr. 25) zobrazuje velikost odbroušení na stupnici bez nutného měření. Pomocí distančních podložek o různých tloušťkách (0,1 / 0,3 / 0,5 mm) je matrice vždy v držáku ustavena ve stejné výšce. Pro upevnění matrice v kazetě je na vnějším průměru vytvořena jedna drážka, ve speciálních případech pak dvě drážky.

Často dochází ke zpětnému vytažení odpadu zpět z matrice, což může zapříčinit poškrábání tabule, v horším případě zničení nástroje. Tomuto problému se dá předejít použitím matrice pro zachytávání odpadu (obr. 26). Na funkčních plochách jsou proti sobě vyjiskřeny drážky, do kterých se materiál při zpětném pohybu nahoru zachytí. Pokud je nutné předejít poškrábání spodní strany plechové tabule, je vhodné použít matrici s vloženými kartáčky (obr. 27) nebo speciální polyuretanové nálepky, které se nalepí na čelo matrice.



Obr. 24 Matrice [29].



Obr. 25 Systém EasyUse [31].



Obr. 26 Matrice zachytávající odpad [31].



Obr. 27 Matrice s kartáčky [31].

2.4.3 Stěrač [14, 29, 31]

Nedílnou součástí nástrojové sestavy je stěrač (obr. 28) je umístěn mezi razníkem a matricí. Plní funkci přidržovače a přitlačuje materiál k matrici v průběhu celého zdvihu razníku, tím zajišťuje vyšší kvalitu stříhu. Další funkcí je stírání plechu, který se vlivem elastické deformace zachytí na funkční ploše razníku. Pokud je stěrač použit pouze pro stírání, je nazýván pasivním stěračem. Pokud slouží i jako přidržovač, nazývá se aktivní stěrač. Třetí a poslední funkcí je dočasné přidržení materiálu (obr. 30), což je využíváno zejména pro plechy velkých rozměrů. Stěrač sjede dolů a přitlačí materiál k matrici, zatímco programovatelné klapky uvolní plech a přesunou se na jinou pozici, kde tabuli opět upnou. Další možností je využití při výrobě dílů bez zbytkové mříže. Po oddělení od zbytku tabule je dílec přichycen mezi stěrač a matrici. Po odsunutí zbytku tabule je otočnou nástrojovou hlavou díl otočen do vhodné pozice tak, aby bylo možné jej ze stolu odstranit pomocí otevřeného skluzu. Následně je díl uvolněn a pomocí gravitace a třídícího mechanismu přemístěn do kontejneru na vyrobené díly.

V případě dělení a děrování v blízkosti tvářených prvků se používá speciální polyuretanový stěrač (obr. 29). Plní funkci stěrače i přidržovače i v místech, kde klasický stěrač narazí do tvářeného prvku, což by způsobilo deformaci tohoto prvku, případně nástroje. Po dosednutí pružného razníku se v místě tváření elasticky deformuje a nezpůsobuje žádné deformace vyráběného dílu. Další výhodou je možnost zpracování bez poškrábání.



Obr. 28 Stěrač [31].



Obr. 29 PU stěrač [8].



Obr. 30 Stěrač jako upínací prvek [31].

2.4.4 Ustavovací kroužek [14, 29, 31]

Další součástí patřící do nástrojové sestavy je ustavovací kroužek (obr. 31). Ten je nasazen na upínací válcové části razníku. Zajišťuje přesné ustavení razníku do správné polohy a přenos sil ze stroje na razník. Pomocí průchozí drážky v jedné polovině mezikruží je možné kroužek roztáhnout, tím pádem je možné použití pro určitý rozsah průměrů razníku. Po nasunutí je kroužek utažen pomocí šroubu, jehož osa je kolmá na průchozí drážku. Upínacím mechanismem na čele kroužku je zamezeno posunutí ve směru pohybu nástroje. K upnutí do nástrojové kazety slouží drážky vytvořené na vnější válcové ploše. Ustavovací kroužky se vyrábí ve třech provedeních dle velikosti a tvaru razníku.



Obr. 31 Ustavovací kroužek [31].

2.4.5 Nástrojová kazeta [14, 29, 31]

Ke vzájemně přesnému ustavení všech součástí je určena nástrojová kazeta (obr. 32), pomocí které je pak kompletně osazená kazeta (nástrojová sestava) upnuta do lineárního zásobníku. Kazety jsou vyráběny ve třech typech dle použitého materiálu, každý typ pak v několika velikostech.

Ocelové kazety se vyrábí pro nástroje velikosti 0, I a II. Výhodou je bezpečné sevření nástroje pomocí silných pružin a dlouhá životnost. Nevýhodou je poměrně velká hmotnost (bez nástroje 2,3 kg). RTC kazety se vyrábí z tvrzeného plastu a také jsou určeny pro velikost nástroje o velikosti 0, I a II. Výhodou je nízká hmotnost (0,6 kg), díky tomu stroj může dosáhnout větších zrychlení a rychlejších výměn nástroje. Nevýhodou je nižší životnost



Obr. 32 Nástrojová kazeta [31].

v porovnání s ocelovou kazetou. Kompromisem je kazeta z hliníkové slitiny, která se vyrábí pouze pro nástroje velikosti 5. Díky nízké hmotnosti (0,9 kg) a zesíleným pružinám stroj dosahuje vysokých zrychlení a zároveň má kazeta dlouhou životnost díky tepelnému zpracování. Výměna nástrojové sestavy je plně automatická a na stroji TruPunch 1000 trvá maximálně 4,4 s. V případě použití nástrojů MultiTool je tato doba zkrácena na pouhých 2,2 s.

2.5 Vysekávací operace [12, 18, 19, 29, 31, 46, 49, 51]

S pomocí jednotlivých nástrojových skupin je možné na vysekávacích strojích provádět širokou škálu operací. Tyto operace se dělí na děrovací, dělicí, tvářecí, válečkovací, popisovací a značící. V příloze č. 2 jsou uvedeny příklady značících a popisovacích operací.

- Děrování: Děrovací nástroje patří k základnímu vybavení stroje. S jejich pomocí je možné zhotovit otvor odpovídající tvaru nástroje na jeden zdvih. Jednotlivé nástroje od sebe liší tvarem a velikostí. Za základní tvary je považován kruh, čtverec, obdélník a ovál. Další standardní tvary děrovacích nástrojů jsou rozděleny do kategorie 'A' a 'B', ty jsou uvedeny v příloze č. 3. Další skupinou jsou obloukové nástroje (obr. 33), které jsou využívány pro výrobu děr velkých rozměrů a vnějších oblouků. Tyto nástroje se vyrábí dle požadavku zákazníka s různým vnějším a vnitřním poloměrem. Pro výrobu zaoblení, případně velkých děr se používají také radiusové nástroje (obr. 34), které mají 4 různé poloměry zaoblení. Vyrábí se ve dvou doporučených provedeních se čtyřmi různými velikostmi poloměrů, ale v případě potřeby je možné na zakázku zhotovit tento nástroj s vlastními hodnotami. Výhodou je rychlejší výroba velkých děr s lepší kvalitou stříhu než při použití niblování. Pro výrobu součástí s velkým počtem děr se používají vícenásobné nástroje (obr. 35), kdy se na jeden zdvih zhotoví více otvorů se stejnou geometrií, což vede ke zkrácení výrobních časů. Limitním faktorem těchto nástrojů je maximální střižná síla a maximální rozměr opsané kružnice nástroje 72 mm. Horní díl vícenásobného nástroje může být z jednoho kusu nebo vícedílný, kdy jsou jednotlivé razníky vyměnitelné, výhodou je možnost výměny jednotlivých vložek při opotřebení. Dalším speciálním děrovacím nástrojem je MultiTool, který je popsán v příloze č. 4.



Obr. 33 Banana tool [31].



Obr. 34 Radiusový nástroj [31].



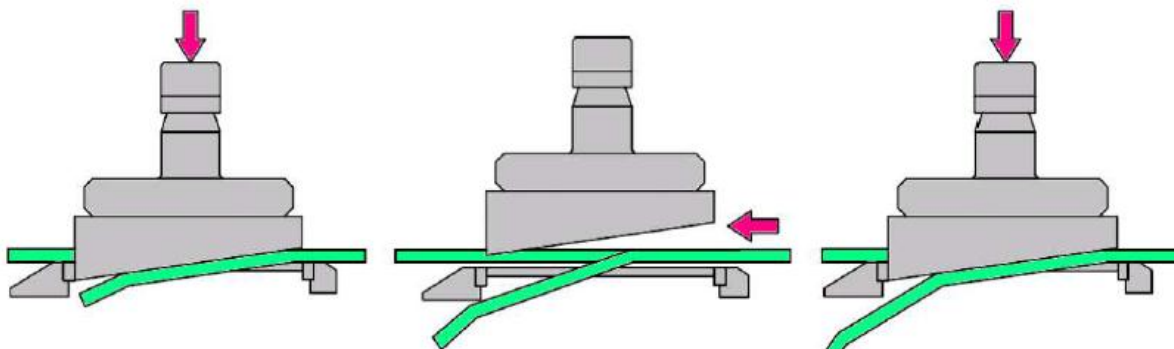
Obr. 35 Vícenásobný nástroj [31].

- Dělicí operace: Dělení patří spolu s děrováním mezi nejdůležitější operace. Pro úsporu materiálu se často využívá společných stříhů, kdy je jedním zdvihem odděleno více součástí. Pro dělicí operace byly vyvinuty speciální nástroje, které vedou ke zvýšení produktivity. Razník i matrici tvoří vyměnitelné lišty (obr. 36) usazené ve speciálním držáku. Vyměnitelné lišty se standardně vyrábí v rozměrech 30 × 5 mm, 56 × 5 mm a 76,2 × 5 mm. Vyměnitelná lišta razníku je zbroušena do tvaru střechy.



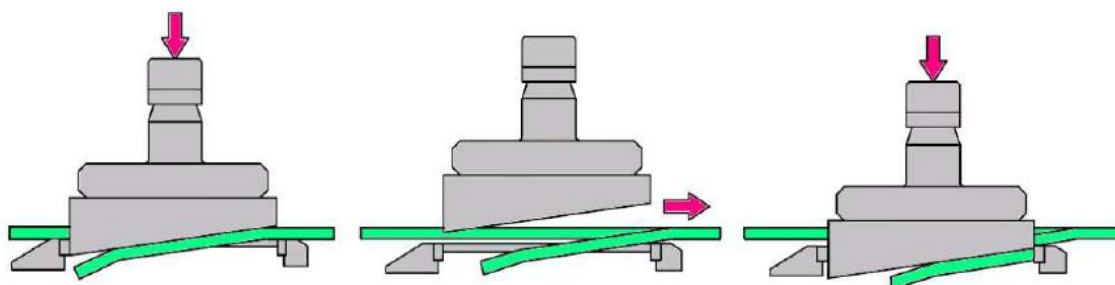
Obr. 36 Dělicí nástroj [31].

Speciální metodou dělení je Slitting (obr. 37), která využívá obdélníkový nástroj se zkoseným čelem Whisper. Dělení probíhá ve třech krocích, v prvním kroku dojde k nastřížení a vyhnutí plechového pásu mimo střížnou rovinu. Následně dojde k posunutí tak, že nedostřížená část leží v plošném průřezu pracovní části nástroje. V následujícím kroku razník opět provede částečný zdvih a dochází k dalšímu nastřížení. Celý proces se opakuje, až je oddělen pásek požadované délky. Poslední zdvih je proveden kompletně. Výhodou je kvalitní střížná hrana srovnatelná s laserovým paprskem, nevýhodou je odpadový dlouhý pásek, odcházející bočním otvorem v matrici, který může značně ztížit manipulaci s odpadem.



Obr. 37 Metoda Slitting [12].

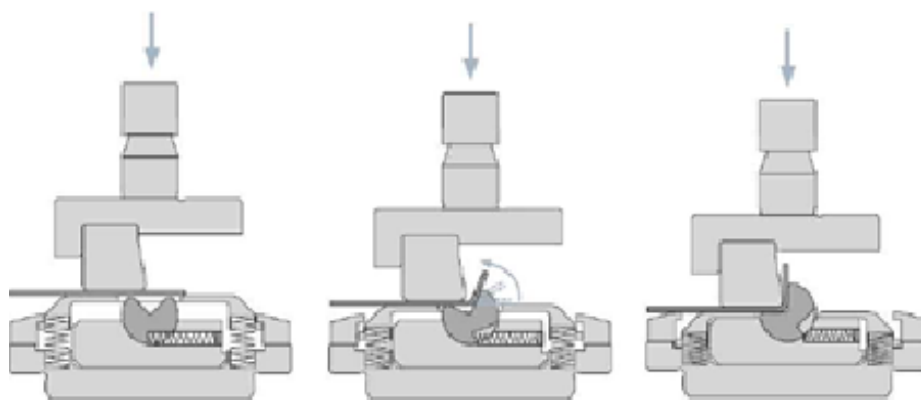
Velmi podobná je metoda MultiShear (obr. 38), kdy je dlouhý odpadový pásek postupně odstřížen. Po nastřížení razník provede částečný zdvih, poté je nastřížený materiál posunut mimo profil nástroje a následně dojde k úplnému zdvihu. Ve výsledku zůstane dělený plech vždy částečně nastřížen. Výhodou je odstranění problému spojeného s manipulací s odpadovým páskem.



Obr. 38 Metoda MultiShear [12].

- Tvářecí operace: Tváření na vysekávacím stroji významně zvyšuje jeho výrobní možnosti. S pomocí speciálních tvářecích nástrojů je možné vyrábět velké množství různě tvarovaných prvků, některé příklady jsou uvedeny v příloze č. 5. Základní tvářecí operace zahrnují odsazení, zahlubování, lemování, protahování a závitování. Důležitá je také možnost výroby prolisů, větracích otvorů, můstků aj. S patentovanou technologií MultiBend je možné na vysekávacím stroji ohýbat plechové díly s maximální tloušťkou $s = 2 \text{ mm}$. Před samotným ohybem je nutné děrováním vytvořit uvolnění. Ohybový nástroj se skládá z razníku s vyměnitelnou ohýbací lištou (horní nástroj) a matrice s vyměnitelným válečkem. Ty jsou vždy určeny pouze pro jednu určitou tloušťku materiálu. Ohýbací váleček má vybrání pro pružinu a ohybovou drážku s 'V' profilem. Při pohybu razníku dolu materiál tlačí na jednu stranu válečku, který má tendenci se otáčet kolem své osy. Jeho rotací dochází k postupnému ohýbání díky působení stěny 'V' drážky na ohýbaný materiál.

Při zpětném pohybu razníku se s pomocí pružiny vrací váleček do původní polohy. Princip technologie MultiBend je znázorněn na obr. 39. Délka ramene ohybu může být 10 ÷ 25 mm, šířka ohybu 5 ÷ 55 mm s maximálním úhlem ohybu 90 °.



Obr. 39 Nástroj MultiBend [12].

Další významnou tvářecí operací je protahování, kdy dojde k vytvoření tzv. krčku (obr. 40). Takový tvářený prvek je možné vytvořit směrem nahoru nebo dolů a může sloužit k vedení kabelů a malých trubek, jako protiskluzový prolis nebo jako předpřipravený otvor pro zhotovení závitů. Schéma nástroje je znázorněno na obr. 41. Firma Trumpf standardně poskytuje nástroje pro výrobu průtahů pro tloušťky plechů od 1 mm až do 3 mm. Pro snížení tření a zvýšení životnosti tvářecích nástrojů jsou vysekávací stroje vybaveny automatickým mazáním. Před samotnou tvářecí operací je na plech pomocí mazací trysky v požadovaném místě nastříkána směs oleje a vzduchu. Následně se namazaný plech přesune pod nástroj a v dané pozici je provedena tvářecí operace. Výhodou je vyšší kvalita tvářeného dílu, vyšší produktivita oproti zastaralým strojům, kde bylo nutné ruční nanášení oleje a nižší spotřeba oleje díky bodovému mazání. Sílu potřebnou pro vytvoření průtahu lze rozdělit na tvářecí sílu, která je nutná k protažení krčku a přidržovací sílu, která zajišťuje vlivem působení přidržovače požadovanou kvalitu taženého prvku. Tažná složka celkové tvářecí síly je zjednodušeně určena vztahem (2.21), přidržovací síla je definována vztahem (2.22) a celková tvářecí síla je dána jejich součtem (2.23).



Obr. 40 Průtah [31].

$$F_{taž} = 2 \cdot \pi \cdot R_{tv} \cdot s \cdot R_m \cdot C_{tv} , \quad (2.21)$$

$$F_{př} = S_{př} \cdot p_{př} , \quad (2.22)$$

$$F_{ctv} = F_{taž} + F_{př} , \quad (2.23)$$

kde: $F_{taž}$ [N]...tažná síla,

R_{tv} [mm]...střední poloměr válcové části výtažku,

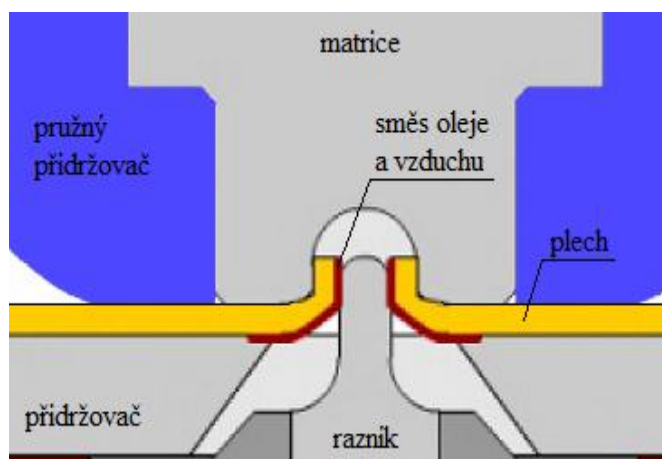
$F_{př}$ [N]...přidržovací síla,

C_{tv} [-]...konstanta pro mělké tažení,

$S_{př}$ [mm²]... obsah funkční plochy přidržovače,

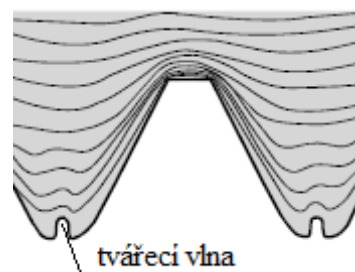
$p_{př}$ [MPa]... měrný tlak přidržovače ($p_{př} = 2 \div 4$ MPa).

F_{ctv} [N]...celková tvářecí síla.



Obr. 41 Schéma protahovacího nástroje nahoru [41].

průběhem vláken a zpevňováním za studena. Mezi další výhody patří lepší jakost povrchu, vyšší trvanlivost nástroje a vyšší řezné rychlosti oproti třískové metodě výroby závitů. Nevýhodou je vznik tvářecích vln (obr. 42), které mohou způsobit problém při automatickém šroubování (možné uvíznutí šroubu v tvářecí vlně). Při tváření závitů vznikají mnohonásobně větší odpory a krouticí momenty než při řezání závitů. Proto je nutné použití vhodného oleje, určeného spíše pro mazání (snížení tření) než chlazení. Základními podmínkami pro možnost tváření je minimální tažnost 7 %, maximální mez pevnosti v tahu 1200 MPa a maximální stoupání 3 mm. Avšak existují i případy, kdy lze dosáhnout s pomocí speciálních nástrojů požadovaných výsledků u materiálů, které tyto podmínky nesplňují.

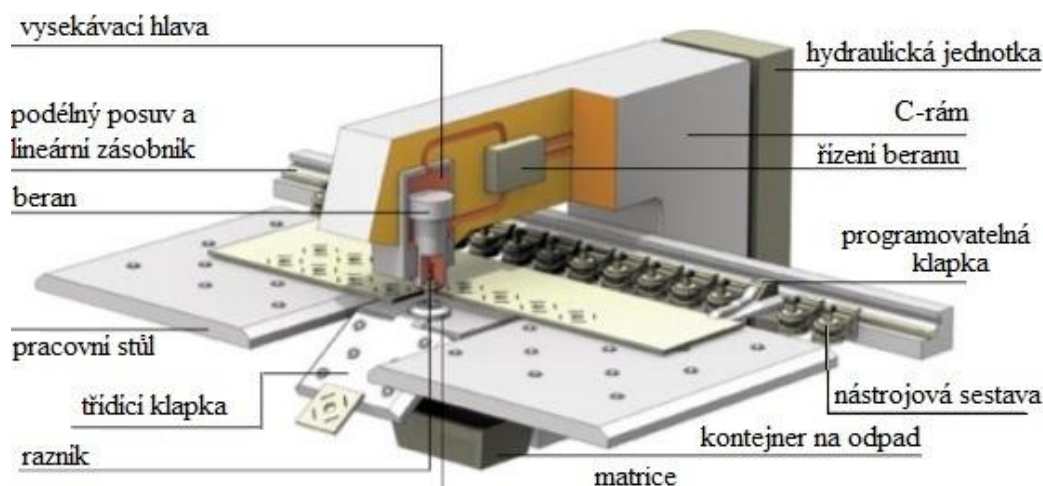


Obr. 42 Profil tvářeného závitu [29].

- Válečková operace: Válečkové technologie představují jiný druh výroby. Plech vykonává kontinuální pohyb a je protahován mezi dvěma válečky požadovaného tvaru, které jsou v razníku a matrici usazený. Tímto způsobem je možné na jeden zdvih vytvářet různé dlouhé obrysy. Dle tvaru válečků je možné zhotovit libovolně dlouhé prolisy a odsazení. Uštipovací nástroj má dva válečky klínového tvaru, které do materiálu proti sobě vytlačí vryp. V tomto místě je materiál zeslaben a může být vylomen. Na kombinovaných strojích (laserové řezání v kombinaci s vysekáváním) je možné vyrábět díly s funkcí „zkosená laserová hrana“, kdy se rychle s pomocí vyštipovacího nástroje vytvoří zešíkmení, následně laserový paprsek, seřízený na dno vrypu, plech oddělí. Výsledkem je dílec s perfektně zkosenými hranami. Vyřezávacím nástrojem lze vytvářet dlouhé dělicí řezy a tvarové kontury na jeden zdvih. Podmínkou je, že začátek i konec řezu musí ležet v materiálu a minimální poloměr střižné křivky je 45 mm. Vzhledem k nutnosti řezu s přesahem při výrobě vnějších rohů není možné vyrábět rohy vnitřní. Výhodou je velká rychlost dělení materiálu, která může dosahovat až maximální rychlosti pojezdu stroje. Pro konkrétní tloušťku materiálu jsou přesně určeny rozměry dělicích válečků. Po děrování se obvykle vytváří otřep na spodně straně plechu, proto přichází vhod odjehlovací nástroj se speciálně tvarovanými válečky, které zatlačí otřep a zkosí hranu, použití je omezeno min. poloměrem rádiusu (20 mm). Pro rádiusy menší než 20 mm se odjehlování provádí speciálním nástrojem. Ten obsahuje v matrici razící vložku, která otřep v rozích zatlačí a zkosí hrany. Tento nástroj však nepatří mezi válečkové nástroje a je používán v režimu jednotlivých zdvihů.

2.6 Vysekávací stroje [1, 12, 18, 29]

Vysekávací stroje se liší dle použité konstrukce a technologie, avšak základní princip je vždy stejný. Základní, na pohled viditelný rozdíl, je v konstrukci rámu stroje ('C' rám a 'O' rám), kde každá varianta má svoje pro a proti. Na obr. 43 je zjednodušeně znázorněn vysekávací stroj, který má rámovou konstrukci ve tvaru písmene 'C'.



Obr. 43 Základní části stroje [1].

2.6.1 Rám stroje [1, 12, 18, 29, 42]

Jak již bylo výše zmíněno, zásadním rozdílem je typ konstrukce rámu. Prvním typem je 'C' rám (obr. 44), který používá firma Trumpf. Druhou variantou je 'O' rám (obr. 45), který využívá například výrobní společnost PrimaPower. Nejdůležitějším aspektem je tuhost rámu, aby nedošlo k deformaci při vysokocyklovém zatěžování silami, které na rám působí při zpracování plechu. Svařovaný 'C' rám vykazuje dobrou torzní tuhost a zároveň poskytuje výborný přístup k polotovaru a k nástrojům. Díky tomu se zkracují vedlejší časy při výměně nástrojů a manipulaci s materiálem. 'O' rám má výrazně vyšší tuhost, ale na úkor horšího přístupu k nástrojům a ke zpracovávanému materiálu. Vzhledem k použití vysekávacího stroje od firmy Trumpf, jsou níže popsány pouze komponenty stroje od tohoto výrobce.



Obr. 44 'C' rám stroje TruPunch 1000 [44].



Obr. 45 'O' rám stroje firmy PrimaPower [42].

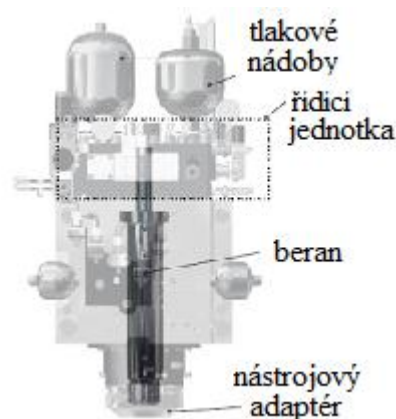
2.6.2 Vysekávací hlava [1, 12, 29]

Další důležitou součástí stroje je vysekávací hlava, která je pevně ukotvena na horní části rámu a velmi rychle pohybuje upnutým nástrojem ve směru hlavního pohybu. Dle použité technologie se dělí na hydraulické a elektrické.

Srdcem hydraulické vysekávací hlavy (obr. 46) je řídicí mechanismus a dvouokruhový vysokotlaký (až 23 MPa) hydraulický systém, který pohání beran a stěrač. Každý zdvih má přesně určenou dráhu zdvihu a hodnotu tvářecí síly tak, aby nedocházelo ke zbytečným energetickým ztrátám. Polohu beranu zajišťuje olejové čerpadlo, které rozvádí médium střídavě do komory nad a pod píst beranu (obr. 48a). Odtud je pohyb pomocí válce převeden na úder razníku a jeho zpětný pohyb do horní úvratí.

Elektrická vysekávací hlava (obr. 47) má jednodušší konstrukci s malými prostorovými nároky. Další výhodou je energetická úspornost a nižší hlukové emise. Princip spočívá v převodu rotačního pohybu, který zajišťuje torzní motor, na translační pohyb beranu pomocí pohybových matic s odlišným stoupáním. Tyto pohybové matice zajišťují pohyb beranu i stěrače (obr. 48b).

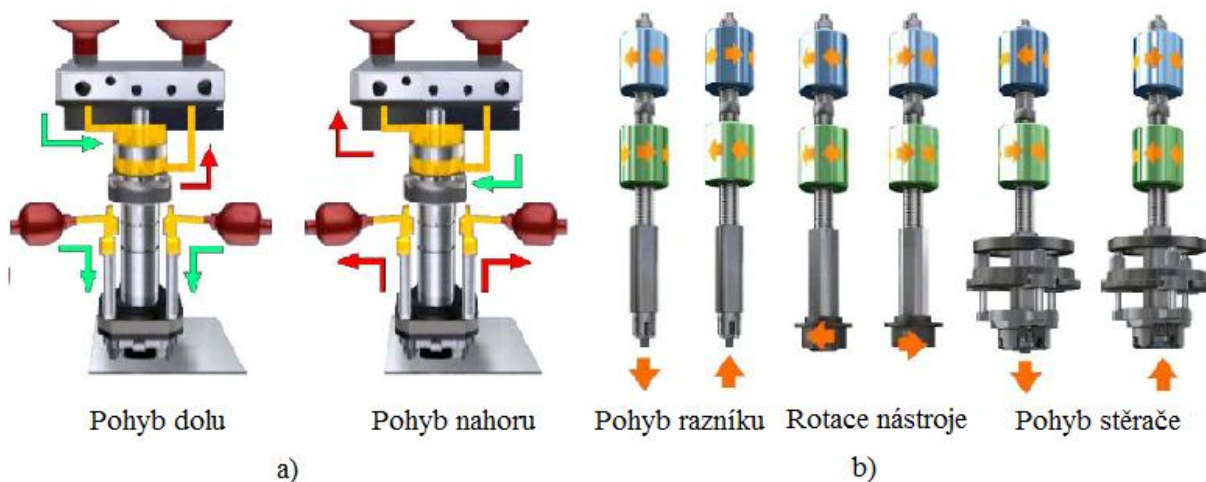
Obě vysekávací hlavy jsou vybaveny osou 'C', což umožňuje otáčení nástroje kolem vlastní osy ($0 \div 360^\circ$), s frekvencí až 330 ot/min. Rotace a přesná úhlová poloha je zajištěna pomocí kuželového ozubeného soukolí. Současně s otáčením razníku se otáčí také matrice, která je vždy ve stejné úhlové poloze jako razník. Výhodou je možnost výroby tvarových součástí s nižším počtem nástrojů, což vede ke zvýšení efektivity (zkrácení vedlejších časů a nižší náklady na nástroje). Velká produktivita je zajištěna díky vysoké frekvenci zdvihů (až 1400 min^{-1} při děrování a 2800 min^{-1} při značení). Na spodní části vysekávací hlavy je upevněn nástrojový adaptér, do kterého se upíná razník a stěrač. Matrice se upíná do spodního nástrojového adaptéru, umístěného pod pracovní rovinou stolu.



Obr. 46 Hydraulická hlava [1].



Obr. 47 Elektrická hlava [1].



Obr. 48 Pohyb beranu hydraulické a elektrické vysekávací hlavy [12].

2.6.3 Lineární zásobník [1, 18, 29]

Nástrojové sestavy jsou upnuty v lineárním zásobníku (obr. 49), který je umístěn na podélném vedení pohybu. Kazety lze upnout manuálně či automaticky pomocí speciálního zařízení do přesně definovaných pozic zásobníku. Do vysekávacího stroje TruPunch 1000 pro střední formát lze upnout celkem 18 nástrojů a 2 programovatelné upínky, které zajišťují ustavení a polohu plechového polotovaru. Výměna jednotlivých nástrojů je plně automatizovaná a trvá maximálně 4,4 s, díky tomu jsou sníženy vedlejší časy na minimum. Lineární zásobník s neosazenou kazetou přijede k nástrojové hlavě, která uvolní nástrojovou sestavu do prázdné kazety, kde je nástroj sevřen čelistmi. Následně se lineární zásobník přesune s požadovaným nástrojem k vysekávací hlavě. V tuto chvíli se povolí čelisti kazety a uvolněný nástroj je upnut do horního a spodního nástrojového adaptéru.



Obr. 49 Lineární zásobník [1].

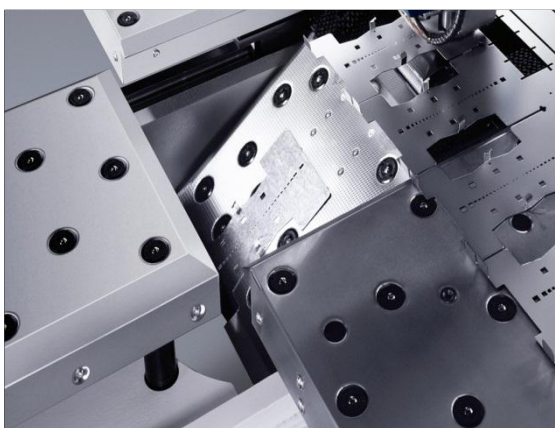
Požadovaný pohyb plechové tabule po stole zajišťují upínky, které jsou ustaveny v lineárním zásobníku. Pro upnutí tabule se v závislosti na rozměrech tabule používají až čtyři upínky, pro střední formát (2500 × 1250 mm) však stačí klapky dvě. Tabule je po naložení na pracovní stůl přiřazen na doraz podélné osy 'X' a dorazy v příčné ose 'Y'. Doraz v ose 'X' tvoří výsuvný čep, který je umístěn pod pracovní rovinou stolu, tento čep se po ustavení zasune a dále nevádí v pohybu tabule po stole. Dorazy v ose 'Y' tvoří otevřené upínky, které se po doražení plechu zavřou a pevně svírají tabuli v přesně dané pozici. Zároveň upínky omezují také pohyb ose 'Z', tím jsou odebrány všechny stupně volnosti. Kolem upínek je vytvořena bezpečnostní zóna, ve které nelze provádět jakékoliv vysekávací operace, tím je předejito možným kolizím upínek s nástroji.

2.6.4 Pracovní stůl a pohybový systém [1, 18, 29, 30, 31, 45]

Pracovní stůl stroje slouží jako opora plechové tabule při jejím zpracování a zamezuje vzniku vibrací a průhybu plechu. Pro předejití poškrábání plechu jsou pracovní stoly vybaveny kartáčky (obr. 50a), kuličkovými ložisky (obr. 50b), případně jejich kombinací.



Obr. 50a Kartáčový stůl [31].



Obr. 50b Stůl opatřený kuličkovými ložisky [30].

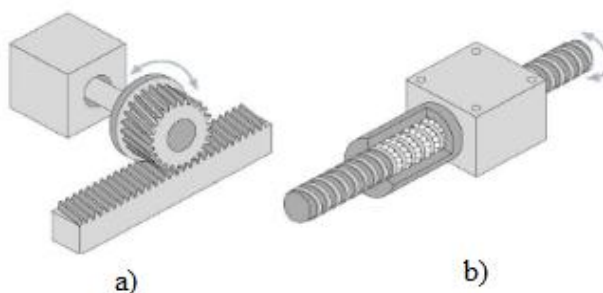
Odpad po děrovacích operacích odchází otvorem v matrici do spodní části stroje, kde je připraven kontejner nebo pásový dopravník, který odvádí odpad mimo prostor stroje. Vyrobené dílce větších rozměrů se ze stolu odstraňují ručně, případně pomocí přísavek. Díly menších rozměrů a malé odpadové části lze z pracovního stolu odstranit pomocí třídícího systému (obr. 51). Maximální velikost dílu, který lze odebrat skluzovým mechanismem je dle použitého stroje až 500×500 mm. Tvarově odlišné díly lze dokonce automaticky třídit do jednotlivých kontejnerů.

Pohyb tabule po stole zajišťuje počítačem řízený pohybový systém, který je vybaven ozubeným převodem (obr. 52a) nebo kuličkovým šroubem (obr. 52b). Osa 'X' umožňuje pohyb doleva / doprava a osa 'Y' společně se stolem dopředu / dozadu. Při děrovacích operacích je pohyb prováděn nekontinuálně, nejprve dojde k rychlému polohování, poté k zastavení a následně k děrovacímu zdvihu. Naopak při válečkovacích operacích je nutný kontinuální pohyb. Přesnost polohování je 0,1 mm a maximální rychlost dosahuje až $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

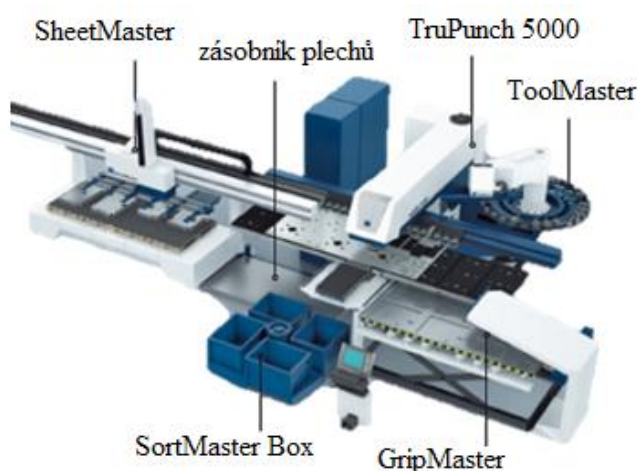
Dalšího zvýšení produktivity vysekávání lze docílit s pomocí speciálních automatizačních komponentů, které umožňují plnou automatizaci (obr. 53). Výrobní zakázka je možné ukončit s minimálními prostoji, dále automatizace vylučuje riziko chybovosti obsluhy, což zlepšuje kvalitu výrobků. V zásobníku nástrojů ToolMaster lze skladovat až 70 nástrojů, které je možné automaticky osadit do lineárního zásobníku v čase kratším než 9 s. Zařízení SheetMaster slouží k zakládání plechů do stroje a vykládá velké hotové díly s pomocí přísavek. Flexibilní řešení přípravy surových polotovarů nabízí systém kolejových vozíků. SortMaster Pallet a SortMaster Box zajišťuje třídění a ukládání hotových dílců na europalety eventuálně do kontejnerů. GripMaster slouží k odebrání zbytkové mříže ze stroje, pro její likvidaci pak lze použít ShearMaster, který rozstříhá zbytkovou mříž na menší části do kontejneru, tím se zjednoduší manipulace s odpadem. Nevýhodou těchto automatizačních prvků je nutnost navýšení už tak velké investice do vysekávacího stroje a velká instalační plocha.



Obr. 51 Třídící systém [1].



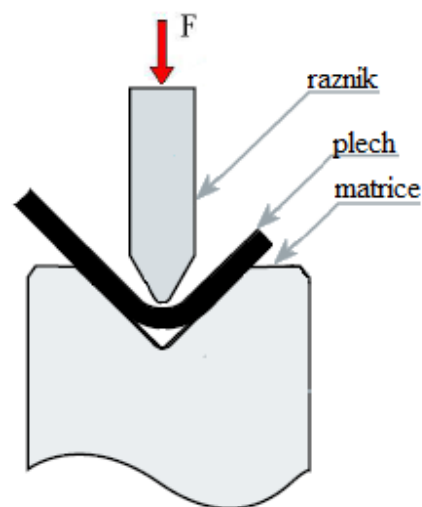
Obr. 52 Pohybový mechanismus [1].



Obr. 53 Plně automatizovaný stroj TruPunch 5000 [45].

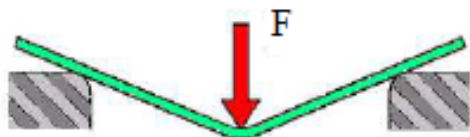
3 TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ [11, 12, 20, 39, 40, 46]

Ohraňování je moderní obdobou ohýbání a řadí se mezi metody plošného tváření. Proces ohraňování probíhá na speciálních strojích – ohraňovacích lisech. Platí zde stejné principy a zákonitosti jako u klasického ohýbání. Dochází tedy k lokální plastické deformaci, která je doprovázena elastickou deformací. Ta do ohybového procesu vstupuje negativně jako odpružení. Ohraňovací lisy umožňují zpracovat velkorozměrné díly, kdy délka dílců může dosahovat ve speciálních případech více než 15 metrů. Nástrojem pro ohraňování jsou vyměnitelné lišty, nazývané razník (ohybník) a matrice (ohybnice). Cílem je vytvoření plastické deformace polotovaru v předem určeném místě, tak aby bylo dosaženo požadovaného prostorového tvaru součásti. Polotovarem je tyč, drát nebo plech. Většina ohraňovacích operací probíhá za studena, zpracování za tepla se používá pouze pro tvrdé a křehké materiály, případně vysokopevnostní materiály. Na obr. 54 je znázorněno schéma ohraňování.



Obr. 54 Schéma ohraňování [12].

Ohybem dochází k trvalému přetvoření materiálu, kdy se trvale mění křivost ohýbaného polotovaru. Ke zmenšení poloměru zakřivení dochází při ohýbání, naopak při rovnání se poloměr zakřivení zvětšuje. Základním parametrem ohýbání je tahové napětí, jehož maximální hodnoty jsou vždy nižší než je materiálová pevnost v tahu R_m . Teoreticky jsou známy dva druhy ohybu - ohyb osamocenými silami (obr. 55a) a ohyb vnějšími momenty (obr. 55b).

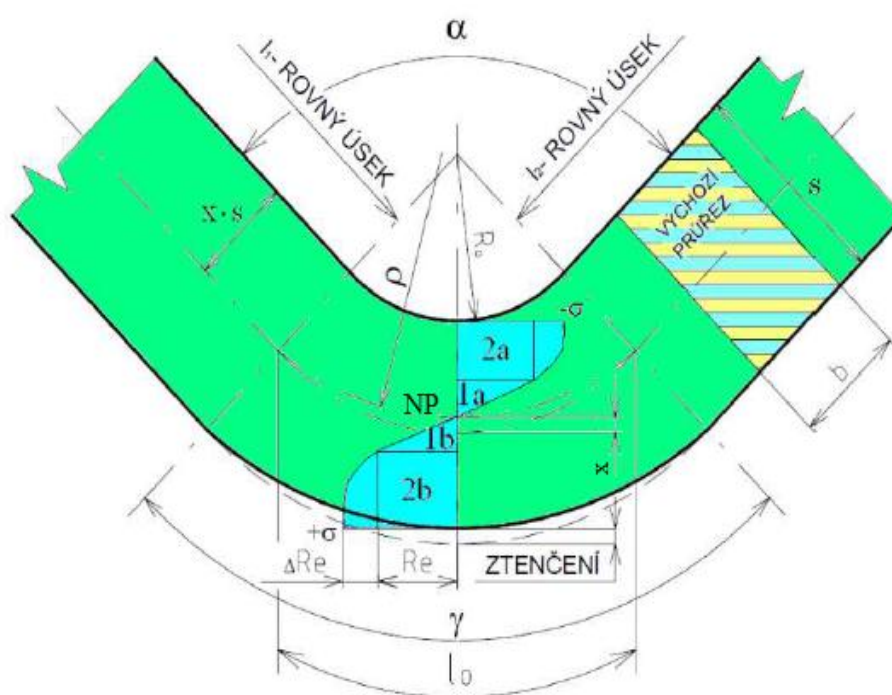


Obr. 55a Ohyb osamocenými silami [11].



Obr. 55b Ohyb vnějšími momenty [11].

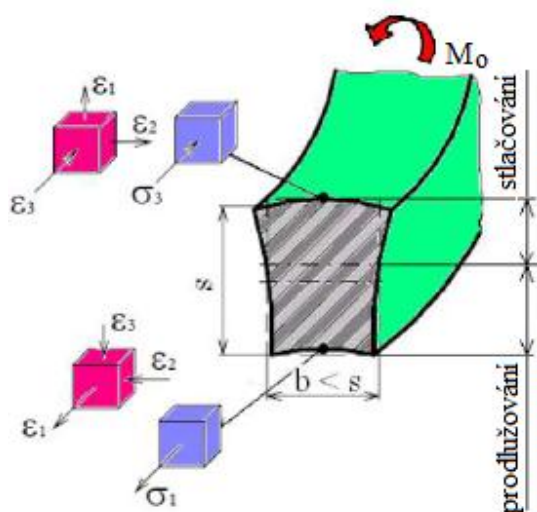
Rozbor stavu napjatosti ukázal, že na vnější straně ohybu vznikají tahová napětí, zatímco na vnitřní straně vznikají napětí tlaková. V oblasti uprostřed ohýbaného průřezu jsou napětí nižší, než je mez kluzu R_e . To způsobuje pouze pružnou deformaci, což je příčinou nežádoucího odpružení. V ohýbaném průřezu se nachází tzv. neutrální plocha, ve které jsou nulová napětí a přechází zde z tahových napětí na tlakové. V této oblasti tedy nedochází k deformaci vláken. Tato plocha leží před ohybem uprostřed ohýbaného průřezu, avšak při ohýbání se zmenšuje poloměr křivosti a neutrální vrstva se posunuje směrem k vnitřnímu poloměru ohybu. Se zvětšující se vzdáleností 'x' od této neutrální plochy napětí roste a svého maxima dosahuje na povrchu, kdy $x = s/2$. Schéma ohybu je znázorněno na obr. 56.



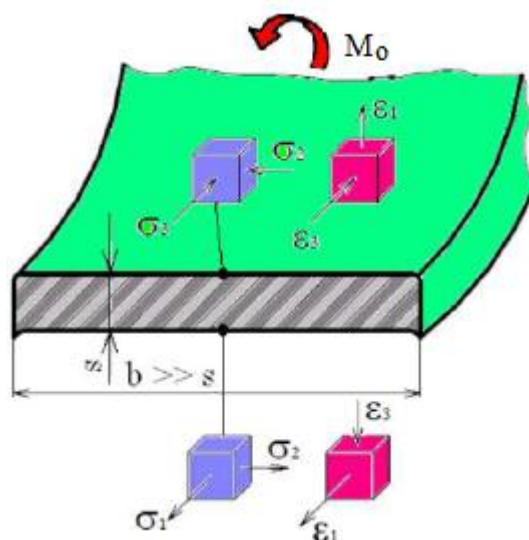
1a, 1b... oblast
elastické deformace
2a, 2b... oblast
plastické deformace
se zpevněním ΔRe
NP... neutrální
plocha
 x ...součinitel
posunutí NP od osy
průřezu
 R_0 ... poloměr ohybu
 l_0 ... délka NP
 l_1, l_2 ... délka rovného
úseku
 ρ ...poloměr NP
 α ... úhel ohybu
 γ ... úhel ohnutého
úseku ($\gamma = 180^\circ - \alpha$)
 b ...šířka průřezu

Obr. 56 Schéma ohybu [12].

V závislosti na rozměrech průřezu je možné sledovat dva odlišné stavy napjatosti a deformace. Při ohýbání úzkých tyčí s obdélníkovým průřezem (obr. 57), kdy je šířka ' b ' menší než tloušťka ' s ', je možné zanedbat napětí ve směru šířky ($\sigma_2 = 0$). Napjatost v krajních vláknách se shoduje s jednoosým tahem (vnější strana) a jednoosým tlakem (vnitřní strana) s prostorovou deformací. Při ohýbání širokých pásů (obr. 58), kdy je šířka mnohonásobně větší než tloušťka, je zamezeno deformaci ve směru šířky ($\epsilon_2 = 0$), jde tedy o rovinnou deformaci, kdy na tahové straně je $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ a na tlakové straně je $-\epsilon_1 = \epsilon_3$ a v krajních vláknách nastává rovinná napjatost.

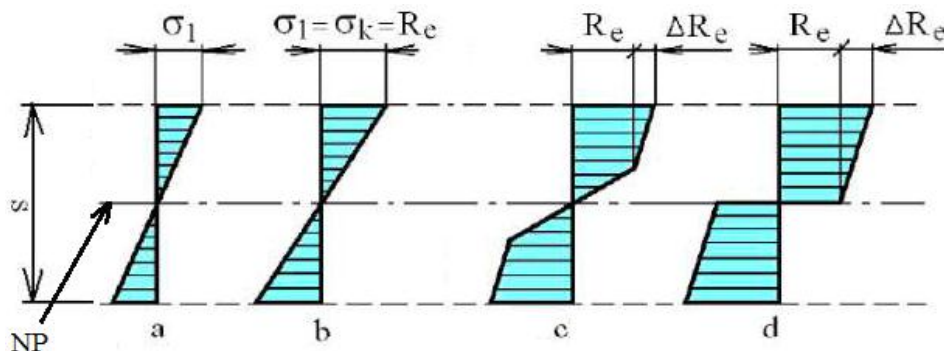


Obr. 57 Ohyb úzkých tyčí [11].



Obr. 58 Ohyb širokých pásů [11].

Při ohýbání dochází ke změně průběhu napětí a dělí se do několika fází. Na počátku je napětí tak malé, že způsobuje pouze pružné deformace (obr. 59a) a po dosažení napětí na mezi kluzu (obr. 59b) začíná druhá fáze. V tuto chvíli vznikají na povrchu první plastické deformace a se zvyšujícím se ohybovým momentem dále roste velikost deformace a napětí, které se zvyšuje také vlivem zpevnění (obr. 59c). Vlivem zvětšování ohybového momentu se zmenšuje oblast pružných deformací. Pokud se plastická oblast rozšíří na celou tloušťku ohýbaného průřezu, potom ohybový moment dosáhl maximální hodnoty ideálně plastického ohybu a elastické deformace zmizí. Dále nastává třetí fáze, kde už se vyskytují pouze plastické deformace (obr. 59d).



Obr. 59 Rozložení napětí v průřezu v jednotlivých fázích ohybu [11].

3.1 Parametry ohýbání

Do ohybového procesu vstupují parametry, které je nutné předem stanovit a na jejich základě pak jednotlivé aspekty upravit tak, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků.

3.1.1 Určení rozvinutého tvaru [10, 11, 12, 19, 46]

Aby bylo možné určit přesné rozměry rozvinutého tvaru polotovaru a minimálního poloměru zaoblení, je nutné znát polohu neutrální plochy. Pro velké poloměry křivosti je posunutí neutrální plochy minimální a lze uvažovat, že leží ve středu ohýbaného průřezu. Velikost poloměru neutrální plochy pro velké poloměry ohybu je možné určit pomocí vztahu (3.1), kdy platí $\frac{R_0}{s} \geq 12$. Pro malé poloměry zaoblení, kde $\frac{R_0}{s} \leq 6$, platí vztah (3.2).

Při ohýbání na malé poloměry je nutné uvažovat také deformaci průřezu, což se projevuje jako ztenčení a rozšíření výchozího průřezu. Proto do vztahu (3.2) vstupují koeficienty ztenčení a rozšíření, které jsou definovány vztahy (3.3) a (3.4). Koeficient ztenčení je ovlivněn mechanickými vlastnostmi materiálu, úhlem ohybu a velikostí deformace. Jeho hodnoty jsou společně se součinitelem posunutí 'x' uvedeny v tab. 9. Koeficient rozšíření v závislosti na šířce ohýbaného dílu je uveden v tab. 10.

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2}, \quad (3.1)$$

$$\rho = \left(R_0 + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r, \quad (3.2)$$

$$z_s = \frac{s_1}{s}, \quad (3.3)$$

$$z_b = \frac{b_1}{b}, \quad (3.4)$$

kde: ρ [mm]...poloměr neutrální plochy,

R_0 [mm]...vnitřní poloměr ohybu,

z_s [-]...koeficient ztenčení průřezu,

z_b [-]...koeficient rozšíření průřezu,

s, b_1 [mm]...tloušťka a šířka ohnutého průřezu,

s, b [mm]...tloušťka a šířka původního průřezu.

Tab. 9 Koeficient rozšíření v závislosti na poměru šířky a tloušťky polotovaru [10].

b [mm]	0,5·s	s	1,5·s	2·s	2,5·s	≥ 3·s
z_b [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1

Tab. 10 Součinitel posunutí neutrální plochy a koeficient ztenčení [10].

R_0/s [-]	0,10	0,25	0,50	1	2	3	4	5	6	8	10
x [-]	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
z_s [-]	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

Pro široké pásy se šířkou $b \geq 3 \cdot s$ je poloměr neutrální plochy určen pomocí součinitele posunutí neutrální plochy, který udává hodnotu, o kolik se neutrální plocha během ohýbání posune vzhledem k původní poloze. Hodnoty součinitele lze určit pomocí tab. 8, pokud jsou známy hodnoty poměru R_0/s . Poloměr neutrální plochy pro tyto případy je určen vztahem (3.5).

$$\rho = R_0 + s \cdot x, \quad (3.5)$$

kde: x [-]...součinitel posunutí neutrální plochy.

S pomocí součinitele 'x' lze výpočtem, který je uveden ve vztahu (3.6), zjistit délku jednotlivých ohnutých úseků součásti (obr. 60). Při lemování dle obr. 61, kdy je proveden ohyb na 180° , se délka ohybu určí pomocí vztahu (3.7). Výsledný rozměr rozvinutého tvaru součásti je pak dán součtem všech rovných úseků a délek ohybu dle vztahu (3.8).

$$l_0 = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot \rho = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot (R_0 + s \cdot x), \quad (3.6)$$

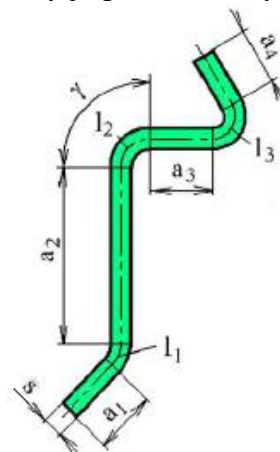
$$l_0 = 0,5 \cdot \pi \cdot s, \quad (3.7)$$

$$L_C = \Sigma l_i + \Sigma l_{oi}, \quad (3.8)$$

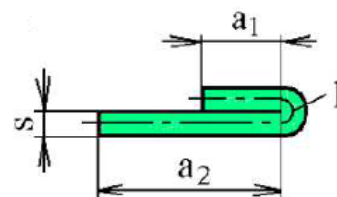
kde: L_C [mm]...výsledná délka rozvinu,

Σl_i [mm]...celková délka rovných úseků,

Σl_{oi} [mm]...celková délka ohnutých úseků.



Obr. 60 Rozvinutá délka polotovaru [12].

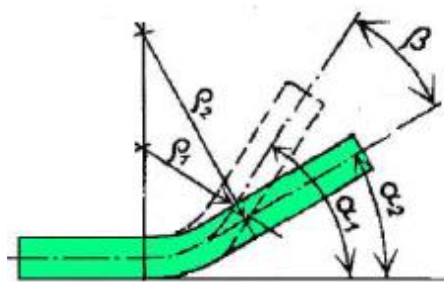


Obr. 61 Ohyb na 180° [12].

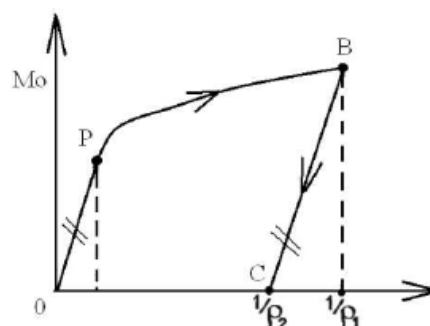
3.1.2 Odpružení [10, 11, 12, 19, 46, 48]

Celková deformace je dána součtem plastické a pružné deformace. Po ohybovém procesu, kdy dojde k odlehčení vnějších sil, elastická složka vymizí a zůstává pouze plastická deformace. Tento jev se nazývá odpružení (obr. 62). Výsledkem je odlišný tvar ohybu od geometrie nástroje. Negativně se odpružení projevuje zmenšením křivosti $1/\rho$ (obr. 63) a zmenšením ohybového úhlu α o úhel odpružení β . Velký vliv na odpružení mají mechanické vlastnosti materiálu, tloušťka polotovaru a parametry ohybu (poloměr, úhel, tvar). V praxi je možné přesnou hodnotu odpružení určit pouze experimentálně. Hlavním důvodem je odlišné chemické složení a mechanické vlastnosti totožného materiálu, ale z rozdílných taveb. Přibližnou hodnotu lze určit buď výpočtem, nebo pomocí diagramu (příloha č. 6), který určuje závislost úhlu odpružení na poměru R/s pro jednotlivé druhy materiálů. S rostoucí tloušťkou a zmenšujícím se poloměrem ohybu klesá velikost odpružení.

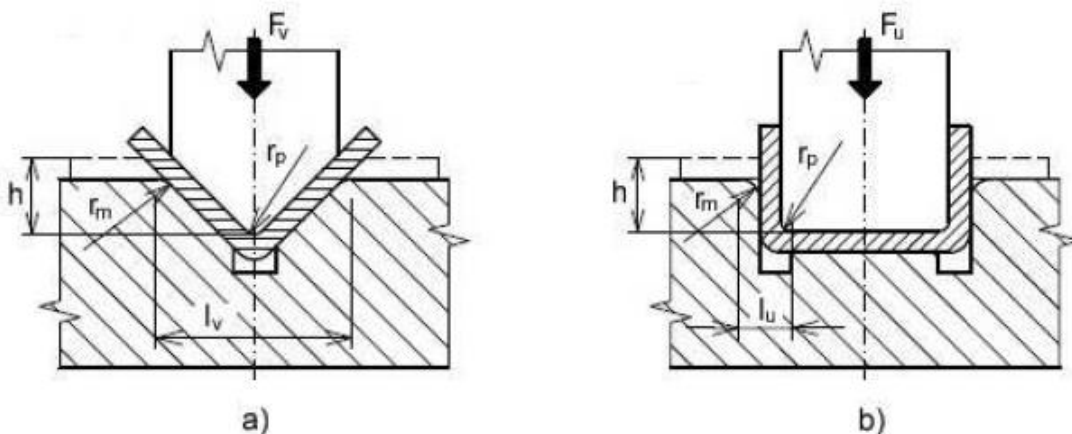
Dle geometrie nástroje lze provádět ohyby do tvaru 'V' (obr. 64a) nebo 'U' (obr. 64b). Pro přibližný výpočet velikosti odpružení při ohýbání do tvaru 'V' lze použít vztah (3.9). Pro 'U' ohyb lze použít vztah (3.10).



Obr. 62 Schéma odpružení [12].



Obr. 63 Závislost ohybového momentu na křivosti [11].



Obr. 64 Ohyb do tvaru 'V' a 'U' [3].

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{Re}{E}, \quad (3.9)$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{Re}{E}, \quad (3.10)$$

kde: β [°]... úhel odpružení,

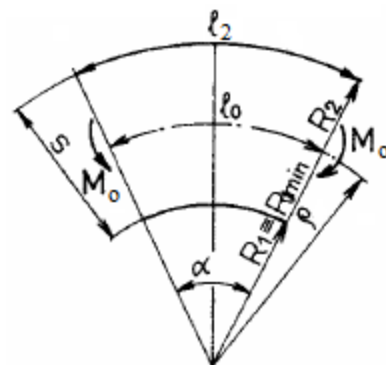
l_v [mm]... rozevření matrice ve tvaru 'V',

l_u [mm]... vzdálenost pro 'U' ohyb,

E [GPa]... Youngův modul pružnosti.

3.1.3 Maximální a minimální poloměr ohybu [10, 11, 46, 48]

Při překročení minimálního poloměru ohybu R_{\min} (obr. 65) dojde k porušení vláken a vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Nežádoucí vznik trhlin je zapříčiněn překročením meze pevnosti v tahu. Velký vliv na minimální poloměr ohybu mají plastické vlastnosti materiálu, anizotropie, úhel ohybu a tloušťka materiálu. Napětí v krajních vláknech vyvolá trvalou poměrnou deformaci, jejíž vyjádření je uvedeno ve vztahu (3.11). Hodnotu minimálního poloměru lze určit pomocí vztahu (3.12), do kterého vstupuje materiálový součinitel c_m . V tab. 11 jsou uvedeny hodnoty součinitele c_m pro vybrané druhy materiálů. V praxi se minimální poloměr ohybu obvykle nepoužívá, namísto toho jsou využívány hodnoty o 20 % větší.



Obr. 65 Deformační schéma ohybu [11].

$$\epsilon_{tmax} = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha}, \quad (3.11)$$

$$\epsilon_{tmax} = \frac{(R_{\min} + s) - \left(R_{\min} + \frac{s}{2}\right)}{\left(R_{\min} + \frac{s}{2}\right)} = \frac{s}{2 \cdot R_{\min} + s},$$

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{tmax}} - 1\right) = c_m \cdot s, \quad (3.12)$$

kde: ϵ_{tmax} [-]... trvalá poměrná deformace,
 l_2 [mm]... délka krajního vlákna na vnější straně,
 R_{\min} [mm]... minimální poloměr ohybu,
 R_2 [mm]... vnější poloměr ohybu,
 c_m [-]... materiálový součinitel.

Tab. 11 Materiálový součinitel c_m pro vybrané materiály [11].

materiál	měkká ocel	měkká mosaz	hliník	dural	měkká měď
c_m [-]	0,5 ÷ 0,6	0,3 ÷ 0,4	0,35	3 ÷ 6	0,25

Maximální poloměr ohybu je ten, při kterém v krajních vláknech vznikají první plastické deformace. V případě nižších napětí dojde pouze k elastické deformaci a materiál se po odtížení vrátí do původního rovinného tvaru. Napětí v krajních vláknech, které vychází z Hookova zákona a ze vztahu (3.11), je uvedeno v rovnici (3.13). Odtud je pak možné vyjádřit rovnici maximálního ohybového poloměru (3.14).

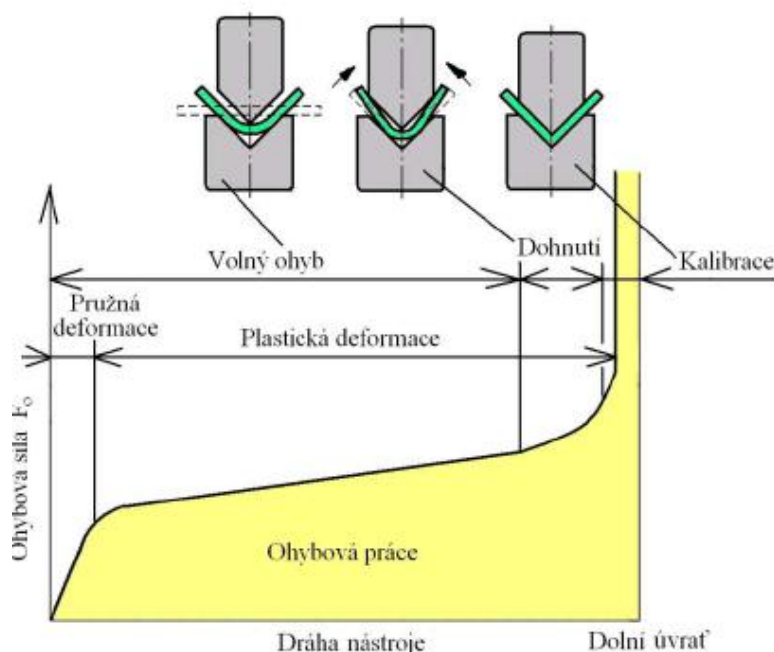
$$\epsilon_{tmin} = \frac{\sigma_k}{E} = \frac{s}{2 \cdot R_{\max} + s}, \quad (3.13)$$

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1\right), \quad (3.14)$$

kde: ϵ_{tmin} [-]... minimální trvalá poměrná deformace,
 R_{\max} [mm]... maximální poloměr ohybu.

3.1.4 Ohybová síla a práce [11, 15, 19, 27, 46, 50]

V praxi se materiály ohýbají do různých tvarů, nejběžnější je však ohyb do tvaru ‘V’ nebo ‘U’. V závislosti na tvaru ohybu se mění průběh ohýbací síly a práce (obr. 66).



Obr. 66 Průběh ohybové síly [12].

Velikost ohybové síly pro ohyb do tvaru ‘V’ lze použít vztah (3.15). Vztah (3.16) určuje ohybovou sílu při ohýbání do tvaru ‘U’. Ohybová práce pro ‘V’ ohyb je dána vztahem (3.17), pro ‘U’ ohyb pak platí obdobný vztah (3.18).

$$F_{oV} = \frac{Re \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.15)$$

$$F_{oU} = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{Re \cdot b \cdot s^2}{R + s}, \quad (3.16)$$

$$A_{oV} = m_v \cdot F_{oV} \cdot h_o, \quad (3.17)$$

$$A_{oU} = m_u \cdot F_{oU} \cdot h_o, \quad (3.18)$$

kde: F_{oV} [N]... ohybová síla pro ‘V’ ohyb,
 F_{oU} [N]... ohybová síla pro ‘U’ ohyb,
 A_{oV} [J]... ohybová práce pro ‘V’ ohyb,
 A_{oU} [J]... ohybová práce pro ‘U’ ohyb,
 m_v [-]... koeficient zaplnění pracovního diagramu pro ‘V’ ohyb ($m_v = 1/3$),
 m_u [-]... koeficient zaplnění pracovního diagramu pro ‘U’ ohyb ($m_u = 2/3$),
 h_o [mm]... dráha ohybníku.

V průmyslové výrobě je nutné minimalizovat přípravné časy, a proto je nutné určit ohraňovací sílu co nejrychleji. Pro její určení je možné využít tabulky dodávané výrobcem, viz příloha č. 7. Tuto tabulku je možné použít pro volný ohyb do tvaru 'V' s maximálním úhlem ohybu 90 °. Je nutné znát pouze tloušťku materiálu, rozevření (velikost) matrice a poloměr špičky razníku (ohybničku). Uvedená tabulka také určuje nejmenší délku ramene ohybu a minimální poloměr ohybu, kterého je možné dosáhnout. Tato tabulka je pouze orientační. Určit ohraňovací sílu je možné také pomocí vztahu (3.19). Velikost ohraňovací síly se vztahuje na jeden metr délky. Velikost zatížení nástrojů nesmí překročit maximální hodnotu ohraňovací síly, v opačném případě hrozí trvalá deformace a poškození nástroje. Touto maximální hodnotou je každý nástroj popisovacím laserem označen. Pokud je při ohybu použito kalibrace, je nutné ohraňovací sílu zvýšit o sílu kalibrační, která je definována vztahem (3.20).

$$F_{ohr} = \frac{Rm \cdot s^2}{l_v} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot s}{l_v}\right), \quad (3.19)$$

$$F_k = S_k \cdot p_k, \quad (3.20)$$

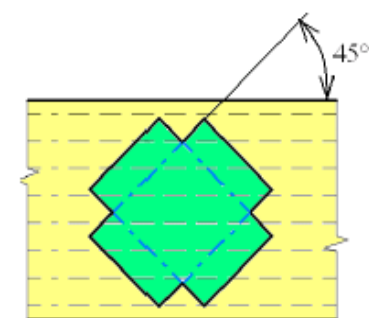
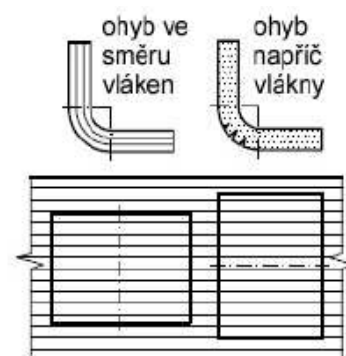
kde: F_{ohr} [kN·m⁻¹]... ohraňovací síla,
 F_k [N]... kalibrační síla,
 S_k [mm²]... obsah kalibrované plochy,
 p_k [MPa]... měrný kalibrační tlak.

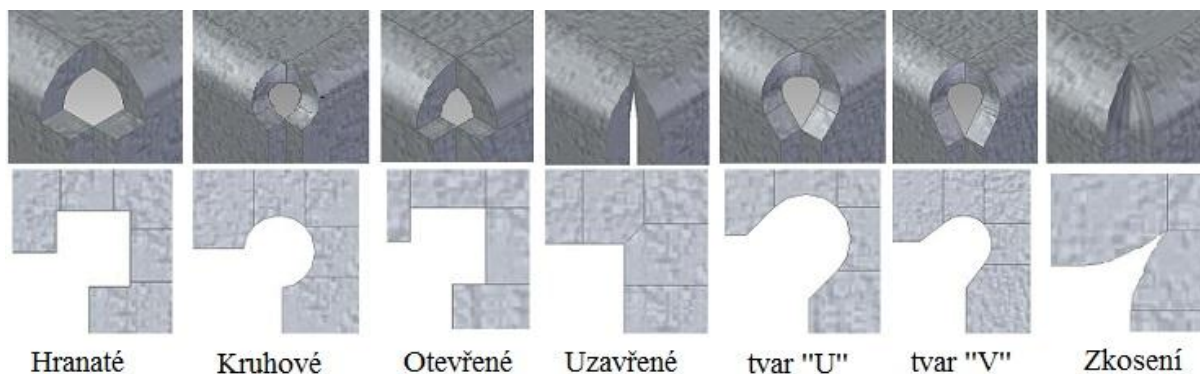
3.2 Technologické zásady [4, 12, 19, 40, 46]

Při konstrukci ohýbaných dílů je vhodné dodržovat několik zásad, které vedou k zajištění výroby s požadovanou kvalitou. Výsledná kvalita závisí na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu a nepřesnostech technologického procesu. Mezi nedokonalosti ohybového procesu patří nepřesnosti úhlu zapříčiněné rozdílným odpružením, které je způsobeno nehomogenními mechanickými vlastnostmi a odlišnou tloušťkou plechu. Nepřesnosti délky ohybových ramen jsou způsobeny špatným uložením materiálu v nástroji nebo odlišným třením materiálu na hranách nástroje. Při ohýbání je možný vznik trhlin na vnější straně ohybu, jejichž příčinou bývá příliš malý poloměr ohybu, rovnoběžný směr vláken s osou ohybu nebo malá tvárnost materiálu.



Těchto nedokonalostí je možné se vyvarovat nebo alespoň minimalizovat jejich vliv vhodnou úpravou výrobního procesu eventuálně konstrukční změnou. Je příhodné volit nástřihový plán tak, aby byla osa ohybu kolmá na směr vláken (obr. 67a), případně volit směr vláken nakloněn o 45 ° (obr. 67b). Okraje ohybu volit pokud možno kolmé na osu ohybu (obr. 68a), jinak hrozí tzv. vyvalení materiálu (obr. 68b).

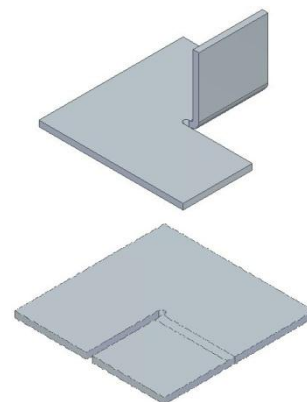




Obr. 69 Vyříznutí rohu

V oblasti konce ohybu, který navazuje na neohnutou část, uvolnit pomocí nastřížení (obr. 70), tím se zamezí vzniku trhlin v tomto místě. Podobné uvolnění zamezující natržení je nutné také u dvou na sebe kolmých ohybů, které vytváří roh krabice. Rohových vyříznutí existuje několik druhů, ty základní jsou uvedeny na obr. 69. Důležité je dodržet minimální vzdálenost ohybu od otvorů a dalších konstrukčních prvků (obr. 71) dle vztahu (3.21), tak aby nedošlo k jejich deformaci. Pokud není možné tuto vzdálenost dodržet, je nutné daný otvor zhotovit nebo dokončit až po operaci ohýbání. V závislosti na poloměru ohybu je možné určit minimální potřebnou délku ramene ohybu (obr. 71). Pro poloměry ohybu menší než 1 mm ($R_0 < 1 \text{ mm}$) je možné tuto vzdálenost určit pomocí vztahu (3.22), pro $R_0 \geq 1 \text{ mm}$ je pak platný vztah (3.23). Minimální délka ramene je také závislá na velikosti rozevření matrice. Bez uvažování vlivu velikosti matrice a poloměru ohybu lze použít také výpočet (3.24), dle kterého je vzdálenost od místa ohybu rovna dvěma tloušťkám materiálu.

Je doporučeno nechávat netolerované rozměry všude tam, kde nedojde ke ztrátě funkčnosti dílu. Dále také nesnižovat tolerance rozměrů pod hodnoty, které jsou dosažitelné běžným ohýbáním.



Obr. 70 Nastřížení ohybu

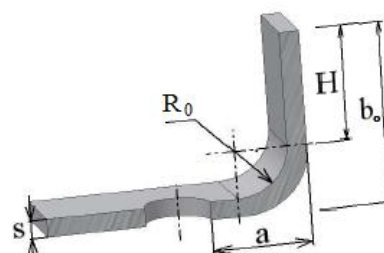
$$a \geq R_0 + 2 \cdot s [\text{mm}] , \quad (3.21)$$

$$b_o \geq 3 \cdot s + R_0 [\text{mm}] , \quad (3.22)$$

$$b_o \geq (2,5 \div 3) \cdot s [\text{mm}] , \quad (3.23)$$

$$H \geq 2 \cdot s [\text{mm}] , \quad (3.24)$$

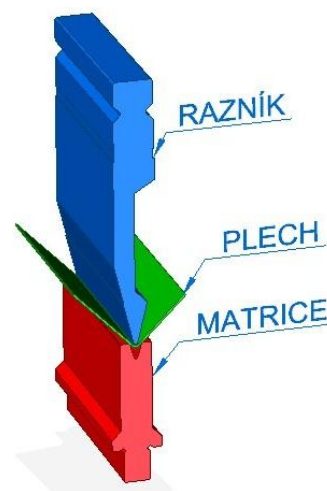
kde: a [mm]... min. vzdálenost otvoru od hrany ohybu,
 b_o [mm]... min. délka ramene ohybu,
 H [mm]... min. vzdálenost ramene od ohybu.



Obr. 71 Minimální délka ramene a vzdálenost otvoru od hrany ohybu [12].

3.3 Nástroje pro ohraňování [12, 14, 15, 25, 27, 40, 46, 48]

Kompletní ohraňovací nástroj (obr. 72) se skládá z horní lišty (razníku) a ze spodní lišty (matrice), ve které je zhotovena průběžná drážka. Při ohraňovacím procesu se pohybuje beran stroje spolu s razníkem směrem dolů do matrice. Výsledkem je zatlačení ohýbaného materiálu směrem do drážky matrice, tím dojde k ohraňování dílce. Tvar a rozměry ohybu jsou dány zvolenými nástroji. Mezi nejdůležitější parametry patří šířka matrice, úhel drážky a zaoblení hran drážky. Dalšími důležitými parametry je poloměr a úhel špičky razníku. Je nutné znát přesnou výšku a geometrii těla razníku i matrice, aby bylo možné stanovit maximální rozměry vícenásobně ohýbané součásti, pro které ještě nedojde ke kolizi ohýbaného materiálu s nástrojem. Pro tyto účely jsou k razníkům přiřazeny diagramy (příloha č. 8), podle kterých lze kolizi předem odhadnout. Především kolizím a zkontrolovat průběh ohybového procesu lze také pomocí simulace přímo na ohraňovacím stroji.

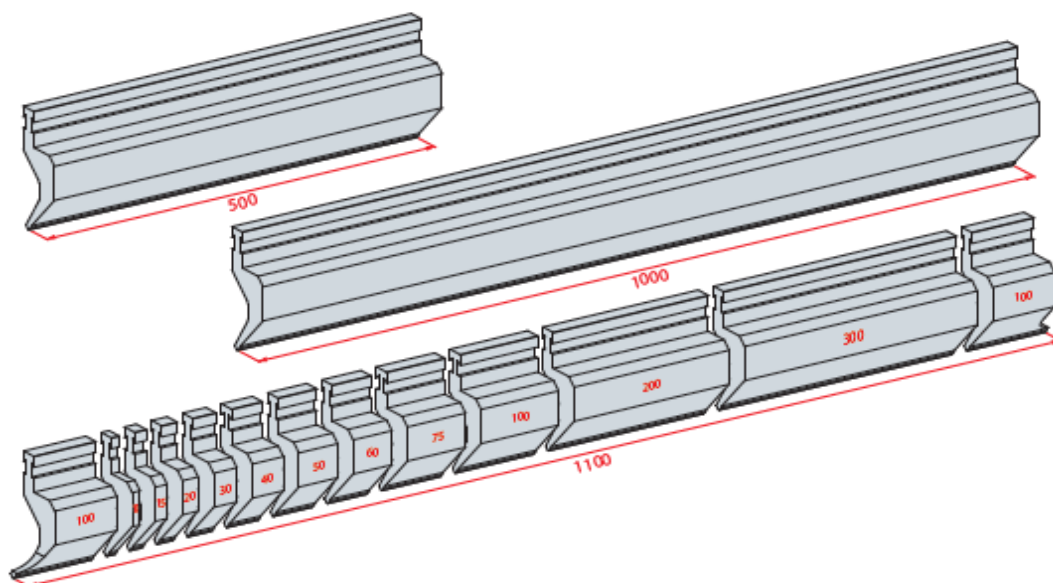


Obr. 72 Ohraňovací nástroj

Pro výrobu nástrojů se standardně používá chrom-molybdenová ocel pro zušlechťování s označením 42CrMo4, případně ocel 1.2312 nebo ocel C45. Indukčním nebo laserovým kalením špičky je dosaženo tvrdosti povrchové vrstvy $52 \div 60$ HRC, tím je zajištěna vysoká odolnost povrchu proti opotřebení, zároveň si nástroj zachová dobré mechanické vlastnosti (tab. 13). Nástroje odlišných výrobců mají obdobnou geometrii, rozdíl je pouze v mechanismu upínání. Razníky i matrice jsou dodávány nadělené ve standardních délkách (obr. 73) a je možné jednotlivé segmenty různě skládat dle rozměrů ohýbaného dílu, což zvyšuje flexibilitu nástrojů.

Tab. 13 Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4 v zušlechtěném stavu [25].

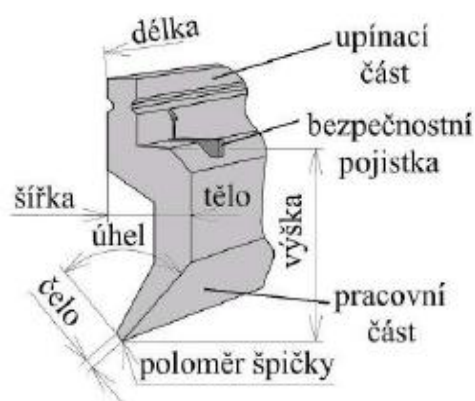
Mechanické vlastnosti		
Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Nárazová práce KV [J]
min. 650	1100-1200	min. 30



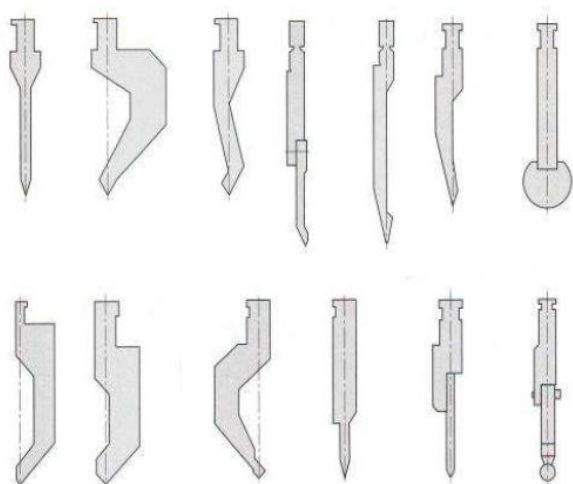
Obr. 73 Segmentové dělení ohraňovacího nástroje [14].

3.3.1 Razníky [12, 14, 15, 27, 46]

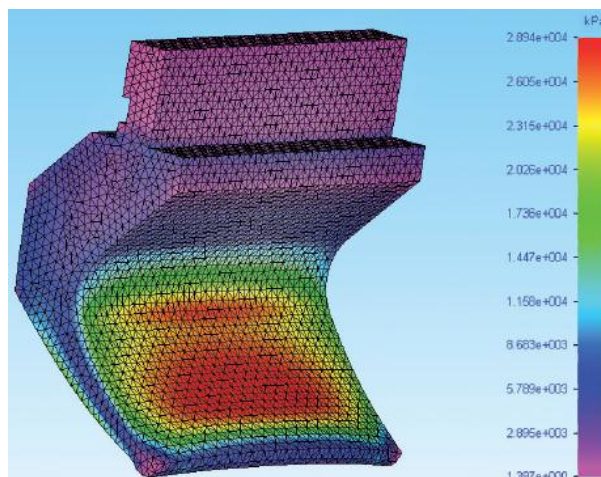
Razníky, také nazývané ohybníky, jsou vyráběny v různých tvarech a velikostech (obr. 75). Díky tomu je možné vytvářet ohyby mnoha odlišných tvarů a rozměrů. Razník je složen z několika částí (obr. 74): upínací části, bezpečnostní pojistky, těla a pracovní části. Charakteristické vlastnosti razníku jsou dány pracovní částí – poloměrem a úhlem špičky a tonáží. Dalšími parametry razníku je pevně daná geometrie, tedy délka, výška a šířka. Pro zvýšení trvanlivosti nástroje bývá špička razníku indukčně nebo laserově zakalena. V dnešní době výrobci nabízejí také povlakování nástrojů, což vede ke snížení koeficientu tření a dalšímu zvýšení trvanlivosti a odolnosti nástroje proti opotřebení. Každý razník je pomocí laserové techniky označen. Je zde uveden úhel špičky, poloměr špičky, délka razníku a tonáž, tedy maximální dovolené zatížení, které nesmí být překročeno, jinak hrozí deformace nástroje. Na obr. 76 je znázorněna deformace v závislosti na zatížení razníku. Tonáž nástroje je uváděna v tunách na metr (T/m), což je ekvivalentní vyjádření vzhledem k jednotce kN/m. Příklady speciálních razníků jsou uvedeny v příloze č. 9.



Obr. 74 Části razníku [50].



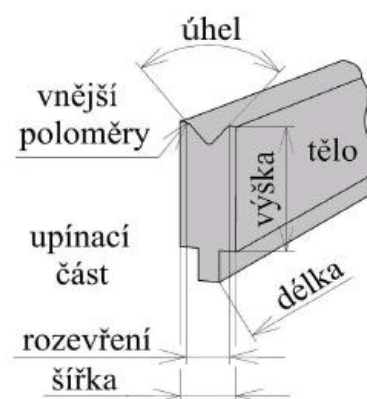
Obr. 75 Tvary razníků [48].



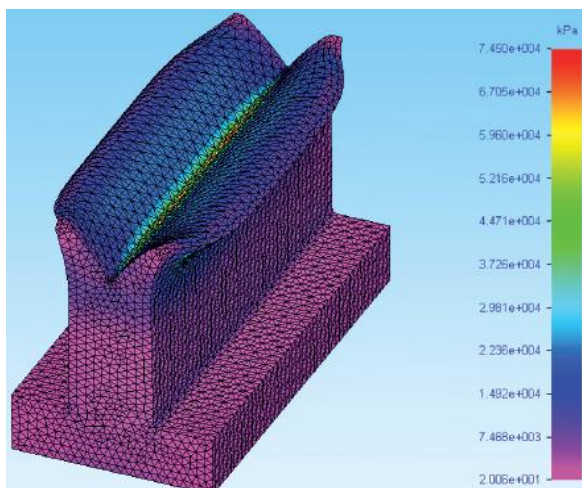
Obr. 76 Zatížení a deformace razníku [14].

3.3.2 Matrice [12, 14, 15, 27, 46]

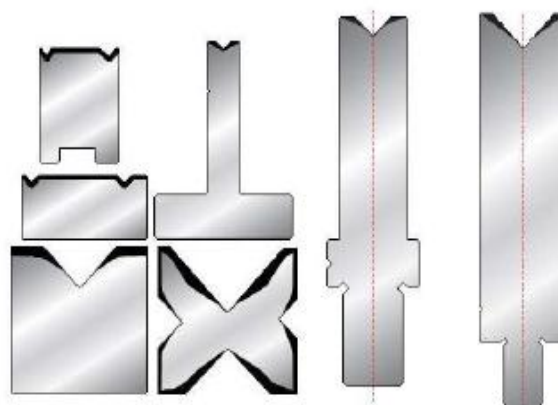
Standardně jsou matrice vyráběny s průběžnou drážkou ve tvaru 'V' nebo 'U', avšak dle požadavků zákazníka výrobci nástrojů nabízí také výrobu speciálních nástrojů na míru. Matrice (obr. 77) se skládá z upínací části a těla, ve kterém je zhotovena tvarová dutina. Parametry matrice jsou dány úhlem rozevření matrice, zaoblením vnějších hran a rozevřením neboli šířkou matrice (vzdálenost mezi středy poloměrů zaoblení) a tonáží. Tyto parametry jsou laserem vyznačeny na těle matrice. Pracovní část matic je stejně jako u razníků tepelně zpracována, případně povlakována pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. Zatížení a deformace matrice je znázorněno na obr. 78.



Obr. 77 Části matrice [50].



Obr. 78 Zatížení a deformace matrice [14].



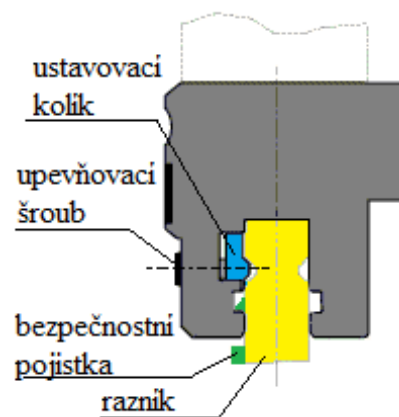
Obr. 79 Tvary matric [40].

Na obr. 79 jsou znázorněny obvyklé tvary matric. Každý výrobce strojů používá jiný typ tvarového upínání. Více o upínání je uvedeno v kapitole níže. Některé ohyby nelze vyrobit s pomocí standardních matric. Pro tyto případy je nutné použít speciální matrice, jejichž příklady jsou uvedeny v příloze č. 10. Pro specifické ohraňovací operace byly vyvinuty kompletní nástroje, jejichž příklady jsou uvedeny v příloze č. 11.

3.3.3 Upínání nástrojů [12, 14, 15, 27, 40, 46, 50]

Razníky a matrice jsou ve stroji upnuty pomocí mechanického nebo hydraulického systému upínání. Méně často je využíván systém pneumatický. Výrobci ohraňovacích strojů a nástrojů používají několik rozdílných tvarů upínací části, které jsou uvedeny v příloze č. 12. Pro upnutí nástroje s upínáním jednoho typu na stroji s odlišným typem upínání je nutné použít speciální upínací adaptéry.

Mechanické upínání (obr. 80) spočívá v založení nástroje do drážky upínače, kde je dočasně zajištěn bezpečností pojistkou. Utahováním šroubu se posouvá ustavovací kolík, který tlačí nástroj na opěrné plochy upínací lišty beranu. Tím se nástroj ustaví a pevně upne ve stroji. Před vyjmutím nástroje je nutné povolit šrouby a se současným stiskem pružné pojistky nástroj ve vertikálním směru vyjmout. Místo bezpečnostních pojistek mohou být použity tvarové drážky, takový nástroj se do upínací lišty vkládá v horizontálním směru. Vzhledem k časové náročnosti utahování šroubů jsou často využívány rychloupínací páky (obr. 81), které umožňují upnutí nástroje pouhým překlacením páky. Mechanické upínání je konstrukčně jednoduché, nevýhodou je nutnost výškového seřízení nástroje, což vede k prodloužení přípravných časů. Z toho důvodu je mechanické upínání využíváno zejména pro sériovou výrobu.

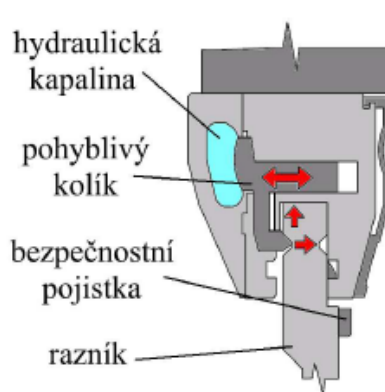


Obr. 80 Mechanické upínání [15].

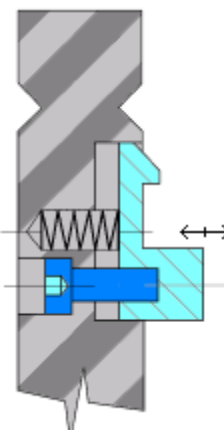


Obr. 81 Rychloupínací páka [14].

Při hydraulickém upínání (obr. 82) je nástroj, stejně jako při mechanickém upínání, vložen do drážky upínací lišty beranu a dočasně upnut pomocí pružné pojistky (obr. 83). Následně je nástroj hydraulickým systémem ustaven do správné polohy a pevně upnut. Upnutí je zajištěno pohyblivým kolíkem se zkosenou dosedací plochou, která je ve styku s drážkou v nástroji. Vlivem zvýšení tlaku v hydraulickém obvodu se kolík excentricky posunuje a tlačí nástroj na boční a horní stěnu upínací lišty. Výhodou je rychlost a přesnost upnutí. V dnešní době jde o nejčastěji používaný způsob upínání nástrojů.

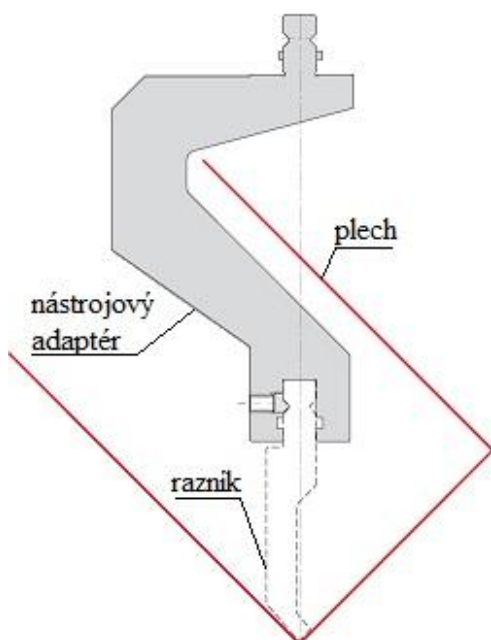


Obr. 82 Hydraulické upínání [12].

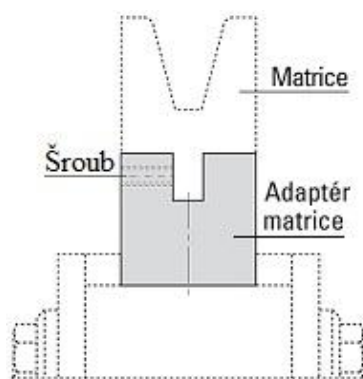


Obr. 83 Bezpečnostní pojistka [12].

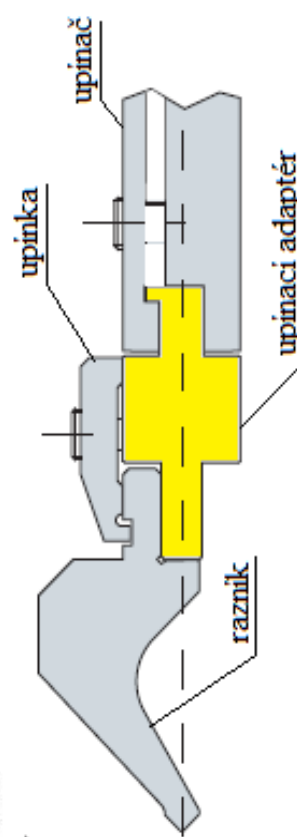
Upínání spodního nástroje (matrice) je provedeno podobně jako u horního nástroje. Před samotným upnutím je pouze nutné očistit jak upínací části nástroje, tak i upínací dutinu. Tím se předejde otlakům a případnému poškození nástroje či upínacího systému. Pomocí adaptérů a speciálních upínek je možné upnout nástroje (obr. 84), které nejsou pro daný systém upínání stroje určeny. Adaptéry (obr. 85) lze využít také pro prodloužení razníku, čímž se umožní zhotovení ohybů, které není možné klasickým nástrojem zhotovit.



Obr. 84 Prodloužení horního nástroje [15].



Obr. 85a Adaptér spodního nástroje [15].



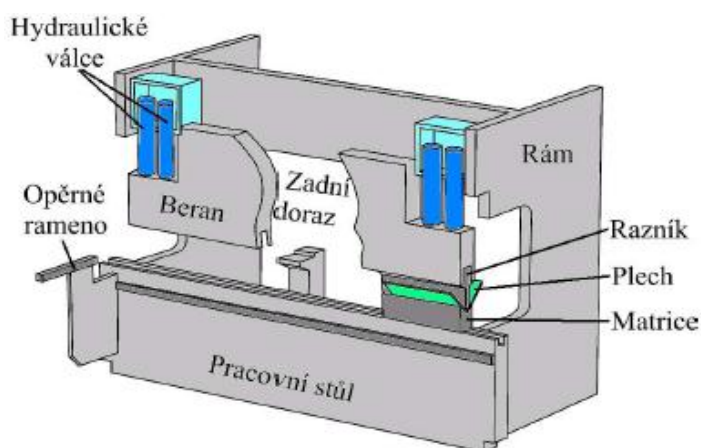
Obr. 85b Adaptér horního nástroje [15].

3.4 Ohraňovací stroje [27, 28, 35, 46]

Ohranění dílů se provádí na ohraňovacích lisech. V dnešní době jsou využívány především stroje s CNC řízením, které zajišťuje požadovanou rozměrovou přesnost dílů. Výhodou je možnost použití tam, kde již klasické ohýbačky nestačí, např. mnoho ohybů za sebou, krátká ramena ohybu, tlusté plechy, velmi dlouhé ohyby a jiné. Díky vysoké produktivitě práce, výkonu a flexibilitě dnes patří ohraňovací lisy mezi nejpoužívanější stroje pro ohýbání dílů. Další výhodou je relativně jednoduchá obsluha díky dotykovému displeji. Také tvorba programu ohraňovacího procesu je díky modernímu simulačnímu softwaru a možnosti vizualizace poměrně jednoduchá. Výhodou je také možnost automatizace procesu. Plně automatizovaná pracoviště se nazývají ohraňovací buňky. Manipulace s materiálem je zajištěna robotickými manipulátory. Díky tomu je možná nepřetržitá bezobslužná výroba s vysokou procesní spolehlivostí. Nevýhodou ohraňovacích buněk je nutnost vysoké investice. Mezi přední výrobce ohraňovacích lisů patří Amada, Bystronic, LVD, SafanDarley, Trumpf aj.

3.4.1 Stavba ohraňovacího stroje [12, 27, 28, 35, 40, 46]

Ohraňovací lisy (obr. 86) mají velmi masivní, rozměrnou konstrukci s vysokou pevností. Díky tomu jsou schopny vyvinout velké síly, aniž by docházelo k deformaci konstrukce. Díky tomu je minimalizováno riziko vzniku nepřesností. Rám stroje je základní částí konstrukce. Zpravidla jde o ocelový svařenec nebo montovaný rám. Konstrukční provedení, které má tvar písmene 'O' nebo 'C', zajišťuje vysokou tuhost, pevnost a odolnost proti cyklickému zatěžování. Rám tvaru 'O' se vyznačuje robustnější konstrukcí s vyšší tuhostí ve srovnání s rámem tvaru 'C'.



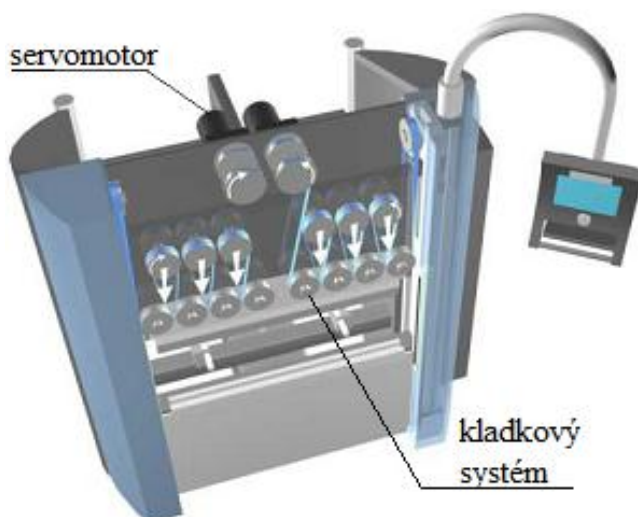
Obr. 86 Hydraulický ohraňovací lis [12].

Dalším základním parametrem je pohon beranu, kam patří hydraulický a elektronický pohon. Svislý pohyb beranu v kluzném vedení je realizován pomocí hydraulických válců. Celý systém hydrauliky je tvořen zubovým čerpadlem, dvoustupňovým tlakovým vedením, hydraulickými válci a řídicí jednotkou, která umožňuje pohyb beranu s přesností až na 0,01 mm. Na základě potřebné ohraňovací síly, kterou musí navrhovaný stroj disponovat, je pak určen počet hydraulických válců (2 nebo 4 válce). Ve válcích se tvoří tlak, který se přes beran a nástroj přenáší na ohýbaný materiál. Výhodou je možnost ohybu silnostěnných materiálů ohraňovací silou více než 12 500 kN. Hydraulické ohraňovací lisy se standardně vyrábí v délce až 6 220 mm. Pro ohranění delších dílů je možné použít stroje instalované do tandemu (obr. 87). Každý stroj má svůj řídicí systém a díky tomu mohou tandemové stroje při výrobě menších dílů pracovat také v simultánním režimu.

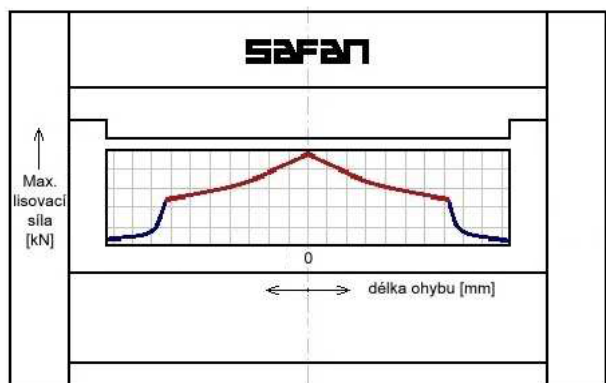


Obr. 87 Tandemové ohraňování [35].

Princip elektronického pohonu (obr. 88) spočívá v systému kladek, řemenů a servomotorů. Synchronizovanými servomotory se navíjí řemen a dochází k pohybu beranu směrem dolů, prakticky jde o kladkostroj. Po dosažení spodní úvratí je beran vytažen zpět do horní polohy pomocí tažných pružin umístěných po stranách rámu. Použité řemeny mají tloušťku 3 mm a šířku 100 mm, pro vyšší pevnost jsou ještě vyztuženy ocelovými dráty a potaženy polyuretanem. Rovnoměrné rozložení kladek po celé délce beranu zajišťuje téměř spojité rozložení síly (obr. 89). Díky tomu je odstraněn problém s bombírováním, jehož výsledkem je odlišný úhel ohybu na krajích a uprostřed ohýbané délky vlivem zatížení a deformace beranu stroje.

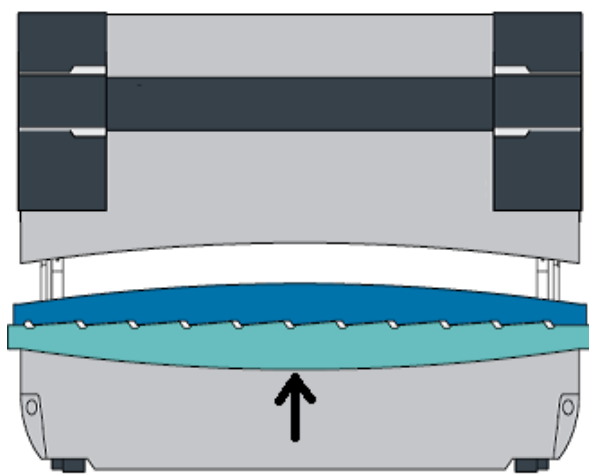


Obr. 88 Princip servoelektrického pohonu [40].



Obr. 89 Průběh síly servoelektrického pohonu [28].

Výhodou servoelektrických lisů je menší deformace rámu, zvýšení přesnosti výroby, nižší energetická náročnost a nižší hlukové emise. Maximální síla servoelektrických ohraňovacích lisů dosahuje až 4 800 kN. Servoelektrické ohraňovací lisy jsou vhodné především pro tenké plechy. U hydraulických lisů sílu přenáší pouze válce umístěné po stranách beranu, což způsobuje při použití velkých sil deformaci horního beranu. Výsledkem je odlišný úhel ohybu na krajích a uprostřed ohýbaného dílu. Tomu lze předejít bombírováním. V minulosti se využívalo

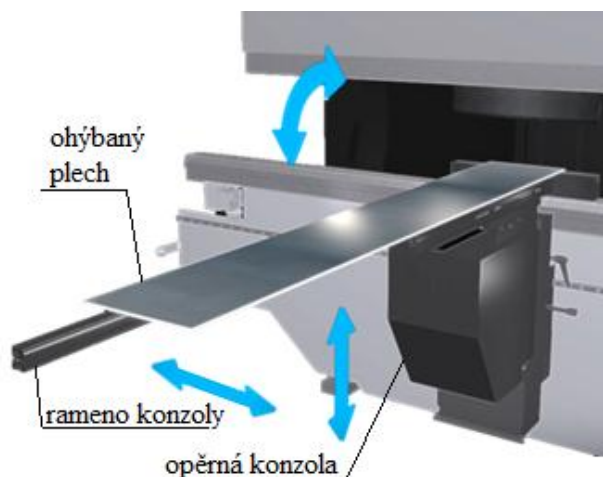


Obr. 90 Průhyb beranu a bombírovací systém [35].



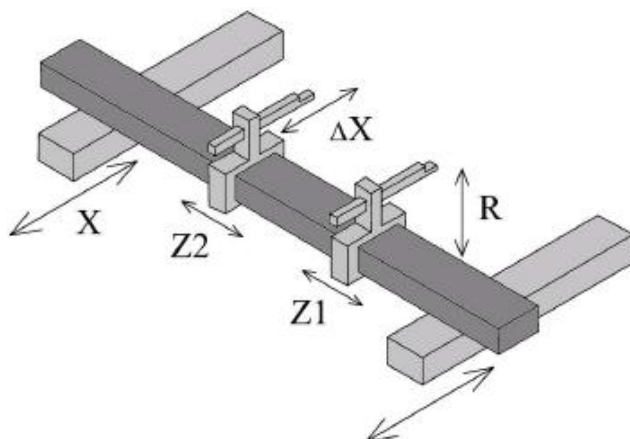
Obr. 91 Drážkovaný stůl [35].

Pracovní stůl může být opatřen opěrnými konzolami (obr. 92), které slouží k podepření ohraňovaných dílů a usnadnění pracovní činnosti obsluhy stroje. Využívají se zejména pro těžké díly a rozměrné díly malých tlouštěk, u kterých jde především o minimalizaci nežádoucího průhybu, kterému jinak musí zabránit obsluha stroje vlastními silami. Opěrná konzola může být pevná nebo posuvná v horizontálním i vertikálním směru.



Obr. 92 Opěrná konzola [35].

Zadní dorazy (obr. 93) zajišťují přesné ustavení dílu ve správné poloze. Dorazy jsou polohovány ve dvou až v 6-ti osách (X1, X2, Z1, Z2, R1, R2) pomocí CNC řízení poměrně vysokou rychlostí s požadovanou přesností. Standardně jsou vyráběny dorazy s rovnými nebo tvarovými palci, o které se ohýbaný materiál před ohybem opírá. Pro šikmé dorážení je možné použít otočné dorazy (obr. 94).

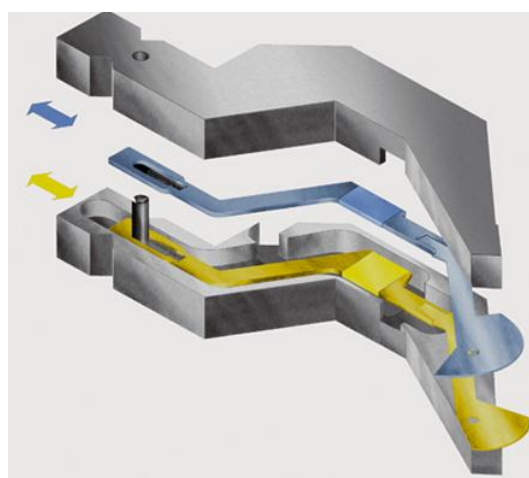


Obr. 93 Systém zadních dorazů [12].



Obr. 94 Otočné dorazy [50].

Pro zvýšení produktivity práce byly vyvinuty systémy, které automaticky měří odpružení. Po prvním ohnutí součásti dojde k odlehčení, systém vyhodnotí velikost odpružení a následně dojde k dohnutí na požadovaný úhel. Výsledkem je zkrácení přípravných časů a měření, proto jsou tyto systémy vhodné především v kusové výrobě. Princip funkce spočívá např. v laserovém měření úhlu (systém EasyForm od firmy LVD), další variantou je měření úhlu pomocí dotykových destiček (obr. 95) integrovaných uvnitř nástroje (systém ACB od firmy Trumpf).



Obr. 95 Systém měření ACB [5].

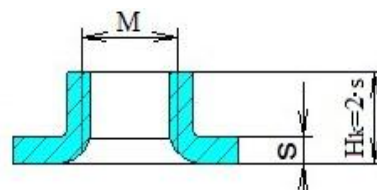
Snížení přípravných časů zajišťuje také snadné intuitivní ovládání na ovládacím panelu, kde je možné vytvářet nové nebo upravovat již hotové programy. Kontrola procesu je pak provedena simulací ve 2D nebo 3D prostoru.

4 PROCES VÝROBY [14, 21, 11]

Kryt vany regulátoru bude zákazníkovi dodáván v dávkách po 200 ks několikrát do roka. Pro výrobu součásti budou použity technologie dostupné ve výrobní společnosti Limid Mohelno s.r.o. V původním konstrukčním řešení bylo místo krčků se závitem použito lisovacích matic (revize A). Zákazníkovi však byla navržena změna a tyto matice byly po schválení nahrazeny právě závitovými krčky (revize B). Mezi další možnosti výroby patří výroba rozvinutého tvaru na laserovém stroji TruLaser 3030 a zhotovení broušeného povrchu pomocí širokopásové brusky RWT BSM 1300 RRDB. V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou pak obě varianty (původní a inovovaná) společně s dalšími možnostmi výroby porovnány a vyhodnoceny. Jako nejvhodnější technologie pro výrobu rozvinutého tvaru součásti bylo zvoleno vysekávání na stroji TruPunch 1000. Prostorového tvaru součásti je pak dosaženo ohraňením na servo-elektrickém ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100. Pro vysekání dílu jsou potřeba běžné děrovací nástroje a dva speciální tvářecí nástroje. Prvním z nich je nástroj na jádrový průtah, který je určen pro výrobu krčků. Druhým nástrojem je pak tvářecí závitník, který v protaženém krčku vytvaruje profil závitu. Estetický dojem zajišťuje broušený povrch, který je na zvoleném polotovaru již zhotoven dodavatelem a opatřen ochrannou laserovou PVC folií (1.4301+2G dle EN 10088-2). Dalších povrchových úprav není vzhledem k dobré korozivzdornosti třeba.

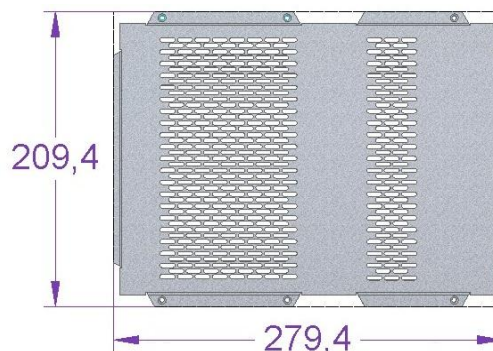
4.1 Rozvinutý tvar součásti a nástřihový plán [4, 11, 14, 46]

Následující popis postupu výroby je uveden pro zvolenou výrobní variantu. Další možnosti jsou v kapitole 5 pouze nastíněny a zhodnoceny. 3D model součásti byl vytvořen pomocí parametrického modeláře SolidEdge ST9. Původní výkresová dokumentace, kde byly na plechovém dílci nalisovány matice, byla upravena a matice byly nahrazeny tvářenými prvky - závitovými krčky (obr. 96). Po schválení změny zákazníkem a revizi výkresu byl dílec uveden do výroby. Po rozvinutí dílu do 2D prostoru je možné získat všechny potřebné rozměry a geometrická data. Od nich se následně odvíjí tvorba nástřihového plánu. Cílem nástřihového plánu je rozložení dílů na tabuli plechu tak, aby bylo dosaženo nejvyšší možné hodnoty koeficientu využití materiálu. Zároveň by měly být dodrženy také všechny technologické zásady výroby.



Obr. 96 Profil závitového krčku.

Rozvinutý tvar (obr. 97) má rozměry 279,4 × 209,4 mm. Prostorový tvar ve směru osy 'X' je tvořen dvěma pravoúhlými ohyby s vnitřním poloměrem ohybu 1 mm. ($\alpha_X = 90^\circ$, $R_{0X} = 1$ mm). Ve směru osy 'Y' je rozvin tvořen čtyřmi pravoúhlými ohyby se stejnými parametry ($\alpha_Y = 90^\circ$, $R_{0Y} = 1$ mm) jako ohyby v ose 'X'. Díky tomu je možné použít stejný nástroj na všechny ohyby. Rozvinutý tvar byl vytvořen pomocí 3D CADu SolidEdge ST9. Pro kontrolu však můžeme použít vztah (3.8). Délka jednotlivých ohybů (obr. 98) vychází ze vztahu (3.6). Důležitým parametrem vstupujícím do tohoto vztahu je poloměr neutrální plochy (3.5). Zde je nutné znát součinitel posunutí neutrální plochy 'x'. Pro korozivzdornou ocel ČSN 17240 s mezí pevnosti nad 400 MPa a poměrem $R_0/s = 1$ je tento koeficient roven $x=0,42$, viz tab. 10.



Obr. 97 Rozvinutý tvar krytu.

Střední poloměr ohybu je potom určen vztahem:

$$\rho = R_0 + x \cdot s = 1 + 0,42 \cdot 1 = 1,42 \text{ mm.}$$

Dosazením do (3.6) získáme délku ohybového úseku:

$$l_0 = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha \cdot \rho = \frac{\pi}{180} \cdot 90 \cdot 1,42 = 2,23 \text{ mm.}$$

Výsledná délka vychází ze vztahu (3.8):

$$L_{cX} = 2 \cdot 2,23 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 267 =$$

$$L_{cX} = 279,46 \cong 279,5 \text{ mm ,}$$

$$L_{cY} = 2 \cdot 2,23 + 2 \cdot 8 + 1 \cdot 189 =$$

$$L_{cY} = 209,46 \cong 209,5 \text{ mm .}$$

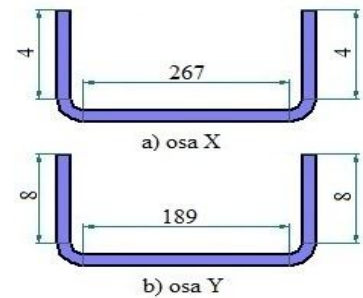
Výsledky výpočtu teoretické délky se mírně liší od rozměrů z modelu. Odchylka je dána nepřesnostmi vstupujícími do výpočtu, např. použitím součinitele posunutí neutrální plochy, který uvažuje pouze poměr R_0/s . Další výpočty se budou odvíjet od rozměrů získaných z modelu, tedy rozměry $279,4 \times 209,4 \text{ mm}$. Tyto rozměry také odpovídají reálné zkoušce ohybu pro zvolené nástroje.

Nástřihový plán významně ovlivňuje výslednou cenu vyráběného dílce. Avšak pro kusovou výrobu jeho význam klesá. Z ekonomického hlediska je cílem maximální materiálové využití plechové tabule. K posouzení slouží součinitel využití materiálu (4.1). S jeho pomocí lze porovnat hospodárnost jednotlivých variant nástřihového plánu a vybrat nejvhodnější možnost.

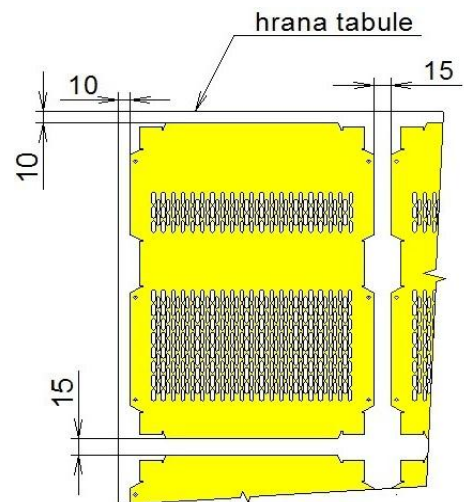
$$k_{mat} = \frac{S_{sou} \cdot n_{sou}}{L_t \cdot \check{S}_t} \cdot 100 \text{ ,} \quad (4.1)$$

kde: k_{mat} [%]...součinitel využití materiálu,
 S_{sou} [mm²]...plocha součásti bez otvorů,
 n_{sou} [-]...počet kusů na tabuli,
 L_t [mm]...délka tabule,
 \check{S}_t [mm]...šířka tabule.

Vytvořený model součásti má obsah plochy bez otvorů $S_{sou} = 56\,207 \text{ mm}^2$. Výchozím polotovarem pro výrobu součásti byla zvolena plechová tabule středního formátu ($2500 \times 1250 \text{ mm}$). Délka tabule je tedy $L_t = 2500 \text{ mm}$ a šířka tabule je $\check{S}_t = 1250 \text{ mm}$. Vzhledem ke vzájemné kolmosti jednotlivých stran součásti se jako nejvýhodnější jeví poskládání dílů podél některé hrany tabule. Tabule plechu je ve stroji upnuta pomocí klapky, kolem kterých je vytvořena bezpečnostní zóna ($180 \times 72 \text{ mm}$). V této zóně není z bezpečnostních důvodů možné provádět jakékoliv vysekávací operace. V případě nutnosti vysekávání v takové oblasti je možné klapky v průběhu výrobního procesu automaticky posunout na jinou pozici. K upnutí středního formátu postačí 2 upínací klapky, zbylé pozice lineárního zásobníku lze osadit nástroji. Bezpečně rozložené díly na tabuli jsou znázorněny na obr. 99. Bezpečná vzdálenost dílu od hrany tabule je 10 mm. Vzdálenost mezi jednotlivými díly je stanovena na 15 mm. Při dělení materiálu nástrojem širokým 5 mm tak zůstane zbytková síť se šířkou jednotlivých částí minimálně 5 mm, čímž je zamezeno případnému utržení zbytkové mříže.



Obr. 98 Profil ohybů.

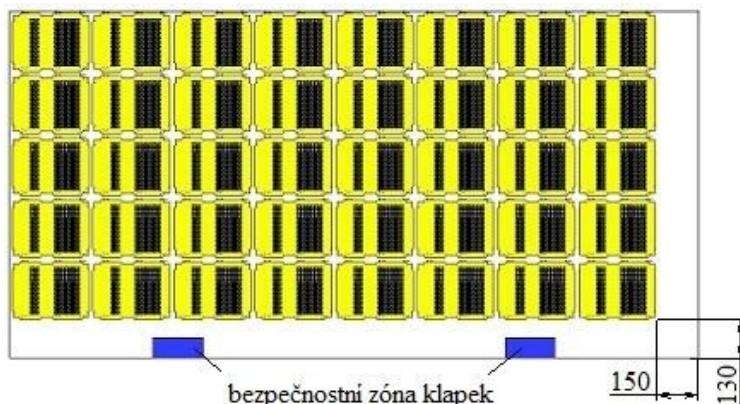


Obr. 99 Rozložení dílů na tabuli.

- Na tabuli lze naskládat pro variantu 'A' (obr. 100) celkem 40 ks ($n_{sou} = 40$):

$$k_{mat} = \frac{S_{sou} \cdot n_{sou}}{L_t \cdot \check{S}_t} \cdot 100 = \frac{56\,207 \cdot 40}{2500 \cdot 1250} \cdot 100 = 72 \%$$

Součinitel využití materiálu je pro tuto variantu 72 %. Zbylých 28 % je odpad. Teoreticky lze některé části (spodní a boční pás) ještě využít. V praxi jsou díly dané zakázky doplněny malými díly jiné objednávky, tím se ještě mírně zvýší procento využití materiálu. Pokud není při výrobě možné tabuli doplnit menšími díly, takové zbytky se neskladují a jdou do odpadu.

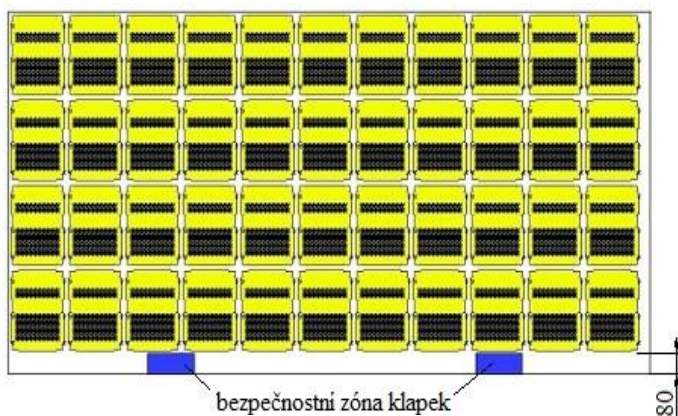


Obr. 100 Varianta 'A'.

- Při variantě 'B' (obr. 101) je na tabuli 44 kusů ($n_{sou} = 44$)

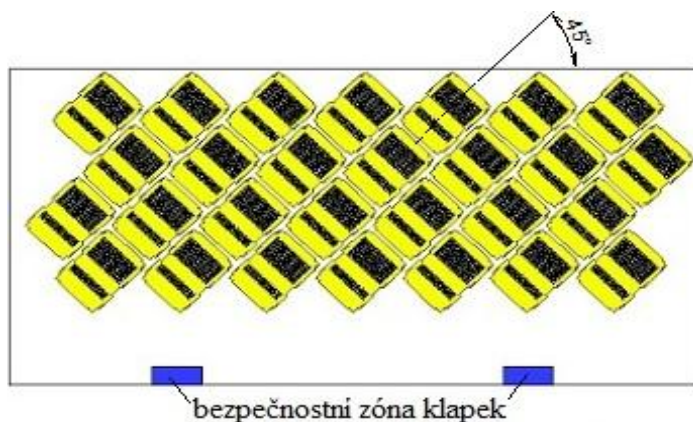
$$k_{mat} = \frac{S_{sou} \cdot n_{sou}}{L_t \cdot \check{S}_t} \cdot 100 = \frac{56\,207 \cdot 44}{2500 \cdot 1250} \cdot 100 = 79,1 \%$$

Odpad tvoří 20,9 %. Součinitel využití materiálu se vzhledem k zaplnění celé tabule téměř beze zbytků jeví jako poměrně nízký. To je dáno vzdáleností mezi jednotlivými díly, které zvyšují procentuální množství odpadu. Tenký pásek (80 mm) lze také využít pro výrobu dalších dílů, avšak v praxi se to moc často nevyužívá. Zejména u tenkých plechů při vysekávání v oblasti mezi klapkami může docházet k utržení zbytkové mříže a následné kolizi nástroje s materiálem.



Obr. 101 Varianta 'B'.

- Nevýhodou varianty 'A' a 'B' je rozdílný směr vláken v osách jednotlivých ohybů. Nabízí se proto možnost poskládání dílů pod úhlem 45 °. Tím je zajištěna stejná orientace vláken pro všechny ohyby. Varianta 'C' (obr. 102) umožňuje na tabuli naskládat 28 ks ($n_{sou} = 28$).



Obr. 102 Varianta 'C'.

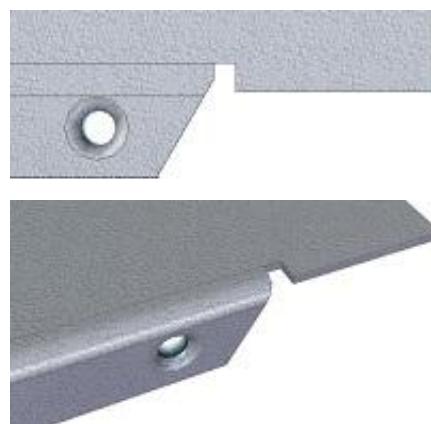
$$k_{mat} = \frac{S_{sou} \cdot n_{sou}}{L_t \cdot \dot{S}_t} \cdot 100 = \frac{56\,207 \cdot 28}{2500 \cdot 1250} \cdot 100 = 50,4 \%$$

Vzhledem k velmi nízkému materiálovému využití je tato varianta velmi nevýhodná. S ohledem na dobré mechanické vlastnosti zvoleného materiálu součásti (ČSN 17 240) je možný ohyb i s osou rovnoběžnou se směrem vláken. Z toho důvodu byla zvolena jako nejvýhodnější varianta 'B', od které se budou odvíjet další výpočty a volby parametrů.

4.2 Vysekávací proces [14, 31]

Nejprve jsou vysekány všechny oválné otvory $11 \times 3 \text{ mm}$ ($411 \times$). V následujícím kroku jsou předděrovány díry pro závitové krčky ($6 \times \varnothing 2 \text{ mm}$). Následně jsou pomocí obdélníkového nástroje $12 \times 2 \text{ mm}$ zhotoveny ohybové výštipy (obr. 103) a krátké hrany vnějšího obrysu. Poté jsou dělicím nástrojem odděleny dlouhé hrany v blízkosti krčků pomocí obdélníkového nástroje $76,2 \times 5 \text{ mm}$.

Čtvrtým krokem je tvářecí operace – protažení jádrového otvoru. Vzhledem k orientaci krčků je pohledová strana s broušeným povrchem směrem dolů, krčky jsou tedy protaženy nahoru. Případnému poškrábání je zamezeno PVC folií. Výsledný vnitřní průměr průvlaku (krčku) je $3,7 \text{ mm}$, což je doporučený průměr díry pro tvářecí závitník (tab. 14). Po vytvoření všech průtahů je nástroj vyměněn za speciální strojní tvářecí závitník, který zhotoví v daných průtazích profil závitů.



Obr. 103 Ohybový výštip před a po ohnutí.

Tab. 14 Doporučené rozměry otvoru pro metrický závit (základní řada) [47].

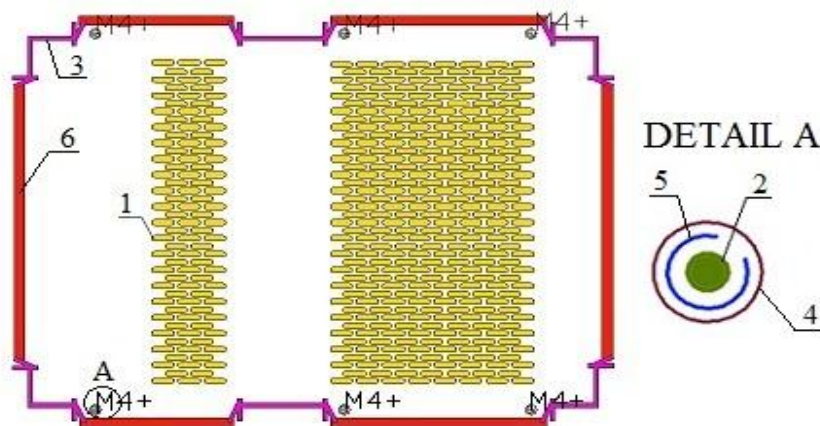
M [mm]	3	3,5	4	5	6	8	10	12	14	16
ø otvoru [mm]	2,8	3,2	3,7	4,6	5,5	7,4	9,3	11,2	13	15

Poslední operací je oddělení dílu od zbytku tabule, které bude provedeno dělicím nástrojem $76,2 \times 5 \text{ mm}$. Kvůli tvářeným prvkům v blízkosti dělení je nutné použít dělicí razník s PU stěračem (obr. 37), který plní i funkci přidržovače. V místech tvářených prvků, v tomto případě závitových krčků, se stěrač pružně deformuje a nedojde tak k jejich zničení. Časy potřebné na výměnu nástroje jsou minimalizovány díky vykonání jednoho kroku (jedním nástrojem) pro celou řadu kusů na tabuli, případně pro celou tabuli, čímž se sníží počet jednotlivých výměn.

Pro výrobu s požadovanou přesností a kvalitou je nutné mít tvářecí nástroje určené přesně pro danou tloušťku materiálu. Ostatní nástroje (matrice) je možné použít pro určitý rozsah tloušťek materiálu. Firma Trumpf dodává nástroje s optimální střížnou vůlí, kterou udává jako $v = 0,2 \cdot s = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ mm}$. Opatřebení způsobuje změnu velikosti vůle a snížení kvality stříhu, proto je nutné nástroje kontrolovat a přebušovat.

Po vytvoření 3D modelu byl dílec rozvinut do 2D prostoru. Výstupem je soubor DXF, který obsahuje potřebná geometrická data. V softwaru TruTopsCAD je DXF soubor upraven (změna barvy čar, doplnění informací o materiálu, specifikace tvářených prvků aj.) a uložen jako soubor s příponou GEO. Na základě GEO souboru je pak v prostředí TruTopsNest vytvořen nástřihový plán. Dle nástřihového plánu se poté připraví výrobní program v softwaru TruTopsPunch, který umožňuje automatické zpracování včetně automatického výběru nástrojů z nástrojové knihovny a vhodných podmínek. Automatické zpracování lze pak dále upravit ručně dle vlastních představ. Následně jsou optimalizovány dráhy a přejezdy nástrojů.

Výsledkem je vygenerovaný výrobní program a nastavovací plán (příloha č. 13), který obsahuje veškeré důležité informace o výrobním programu. Jsou zde uvedena data o díle, nástrojích a výrobních časech. Prostředí použitých softwarů je uvedeno v příloze č. 14. Jednotlivé nástroje a počty zdvihů pro zpracování celé tabule jsou uvedeny v tab. 15. Všechny výše uvedené nástroje s výjimkou oválného nástroje (11 × 3 mm) jsou ve výrobní hale společnosti Limid Mohelno k dispozici a splňují technologické podmínky, které jsou uvedeny v kapitole 2.3.



Obr. 104 Postup výroby.

Dělicí obdélníkový nástroj je zbroušený do tvaru střechy, všechny ostatní použité razníky mají rovné čelo. Na obr. 104 jsou znázorněny kroky provedené jednotlivými nástroji. Označení M4+ znamená krček s metrickým závitem M4 vytažený směrem nahoru.

Tab. 15 Seznam použitých nástrojů [14].

Číslo nástroje	Popis	Rozměr [mm]	Zdvihy [-]
1	ovál	11 × 3	18 084
2	kulatý	Ø 2	264
3	obdélník	12 × 2	2 112
4	průtah (krček nahoru)	průtah ø3,7 (pro M4)	264
5	jádrový otvor (závitník)	M4	50
6	obdélník	76,2 × 5	484

4.2.1 Střížné síly a práce

Pro použité střížné nástroje budou v této kapitole uvedeny výpočty střížných sil a prací. Střížná síla je názorně vypočtena pro dělicí obdélníkový nástroj (č. 6) s rozměrem 76,2 × 5 mm s úpravou čela do střechy. Délka střížné křivky je:

$$l_{s6} = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 76,2 + 2 \cdot 5 = 162,4 \text{ mm}.$$

Faktor zešikmení je roven $X = 1,53$ a byl určen dle tabulky v příloze č. 1. Koeficient otupení nástroje je $n = 1,5$. Mez pevnosti v tahu byla pro kontrolní výpočet stanovena na maximální hodnotu dle tab. 3, tedy $R_m = 686 \text{ MPa}$. Mez pevnosti ve stříhu je potom určena jako 80 % pevnosti v tahu. Vlastní výpočet střížné síly vychází ze vztahu (2.16).

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 686 = 549 \text{ MPa},$$

$$F_{s6} = \frac{n \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s}{X} = \frac{n \cdot l_s \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m}{X} = \frac{1,5 \cdot 162,4 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 686}{1,53} = 87\,378 \text{ N}.$$

Stírací a protlačovací síly jsou určeny dle vztahu (2.17) a (2.18). Koeficienty stírání a protlačování byly dle tab. 5 stanoveny také na maximální hodnoty ($c_1=0,12$ a $c_2=0,08$).

$$F_{st6} = F_s \cdot c_1 = 87\,378 \cdot 0,12 = 10\,485 \text{ N},$$

$$F_{pr6} = F_s \cdot c_2 = 87\,378 \cdot 0,08 = 6\,990 \text{ N}.$$

Celková síla je pak dána součtem předchozích sil a je definována vztahem (2.14).

$$F_{C6} = F_{s6} + F_{pr6} + F_{st6} = 87\,378 + 10\,485 + 6\,990 = 104\,853 \text{ N}.$$

Velikost střížné práce je definována jako práce, kterou vykoná střížná síla. V úvahu se bere proto pouze střížná složka celkové síly a je dána vztahem (2.20). Součinitel plnosti je určen dle grafu na obr. 17. Dle tohoto grafu (pro $\tau_s = 549 \text{ MPa}$) je $\lambda = 0,45$ a délka dráhy razníku je rovna tloušťce plechu, tedy $h = 0,001 \text{ m}$.

$$A_{s6} = F_{s6} \cdot h \cdot \lambda = 87\,378 \cdot 0,001 \cdot 0,45 = 39,3 \text{ J}.$$

V tab. 16 jsou uvedeny vypočtené hodnoty pro všechny použité děrovací a střížné nástroje. Postup výpočtu je stejný, pouze faktor zešíkmení pro nástroje s rovným čelem je $X = 1$.

Tab. 16 Práce a síly jednotlivých střížných nástrojů.

Číslo nástroje	Délka křivky l_s [mm]	Střížná síla F_s [N]	Stírací síla F_{st} [N]	Protlačovací síla F_p [N]	Celková síla F_c [N]	Střížná práce A_s [J]
1	23,4	19263	2312	1541	23115	8,7
2	6,3	5186	622	415	6223	2,3
3	28	23050	2766	1844	27660	10,4
6	162,4	87378	10485	6990	104853	39,3

Pomocí tvářecího nástroje č. 4 jsou zhotoveny krčky. Velikost potřebné tvářecí síly k jejich zhotovení je určena vztahem (2.21). Dosažení požadovaného tvaru průťahu je zajištěno přesně danou geometrií tvářecího nástroje pro danou tloušťku materiálu a pomocí přidržovače. Přidržovací síla je definována vztahem (2.22). Výsledná síla potřebná pro vytvoření průťahu je dána součtem tvářecí a přidržovací síly (2.23).

Poloměr průťahu je $R_{tv} = 1,85 \text{ mm}$. Konstanta pro mělké tažení byla stanovena na hodnotu $C_{tv} = 0,5$ a mez pevnosti opět na maximální hodnotu ($R_m = 686 \text{ MPa}$). Plocha přidržovače byla odměřena z nástroje ($S_{pr} = 166 \text{ mm}^2$) a přidržovací tlak byl určen jako $p_{pr} = 3 \text{ MPa}$.

$$F_{taž} = 2 \cdot \pi \cdot R_{tv} \cdot R_m \cdot s \cdot C_{tv},$$

$$F_{taž} = 2 \cdot \pi \cdot 1,85 \cdot 686 \cdot 1 \cdot 0,5 = 3\,987 \text{ N},$$

$$F_{pr} = S_{pr} \cdot p_{pr} = 166 \cdot 3 = 498 \text{ N},$$

$$F_{Ctv} = F_{taž} + F_{pr} = 3\,987 + 498 = 4\,485 \text{ N}.$$

Vzhledem k malým rozměrům průťahu stačí poměrně malé síly k jejich vytvoření. Všechny vypočtené střížné a tvářecí síly splňuje vysekávací stroj TruPunch 1000 (obr. 105), který je také součástí strojního parku výrobní společnosti Limid Mohelno s.r.o. Maximální střížná síla stroje dosahuje hodnoty 165 kN. Na základě použitého stroje TruPunch 1000 byl také zvolen rozměr výchozího polotovaru ($2500 \times 1250 \times 1 \text{ mm}$), což je největší formát plechu, který lze na stroji zpracovat. Zvolený stroj splňuje všechny podmínky a lze jej použít pro výrobu zadané součásti.

V tab. 17 jsou uvedeny základní technické parametry stroje, více o stroji TruPunch 1000 je uvedeno v příloze č. 15.

Tab. 17 Technická data stroje TruPunch 1000 střední formát [44].

Základní parametry	
Pracovní oblast (X × Y)	2500 × 1250 mm
Max tloušťka plechu	6,4 mm
Max vysekávací síla	165 kN
Max síla přidržovače	17 kN
Max hmotnost obrobku	150 kg
Počet nástrojů	18 + 2 klapky
Doba výměny	4,4 s
Rychlosti	
Osa X	80 m/min
Osa Y	55 m/min
Simultánně (X a Y)	97 m/min
Osa C	180 ot/min
Max. počet zdvihů	600 min ⁻¹
Max. počet značících zdvihů	1300 min ⁻¹



Obr. 105 Stroj TruPunch 1000 ve firmě Limid Mohelno s.r.o.

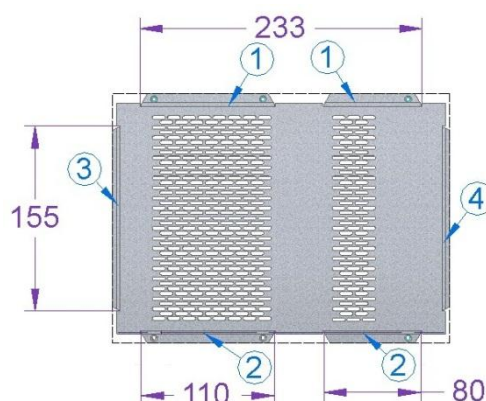
4.3 Ohraňovací proces [14, 27]

Při ohraňování je potřeba zvážit mnoho aspektů. U složitých dílců s mnohanásobnými ohyby je důležité zvolit postup a nástroje tak, aby bylo možné zhotovit všechny ohyby bez deformace dalších prvků součásti. Zároveň je důležité zajistit všechny požadavky, které jsou na součást kladeny. V případě Krytu vany regulátoru nejsou kladeny žádné zvýšené požadavky a součást lze vyrobit běžnými způsoby a technologiemi, které jsou ve výrobní hale společnosti Limid Mohelno s.r.o. dostupné. Vyráběná součást má celkem 4 ohyby o délce ramene 10 mm a 2 ohyby s délkou ramene 6 mm. Všechny ohyby jsou zhotoveny pod úhlem 90 °. Ohraňovací proces bude proveden na servo-elektrickém ohraňovacím stroji SafanDarley E-Brake 100. Maximální ohraňovací síla stroje je 1000 kN v délce 3100 mm.

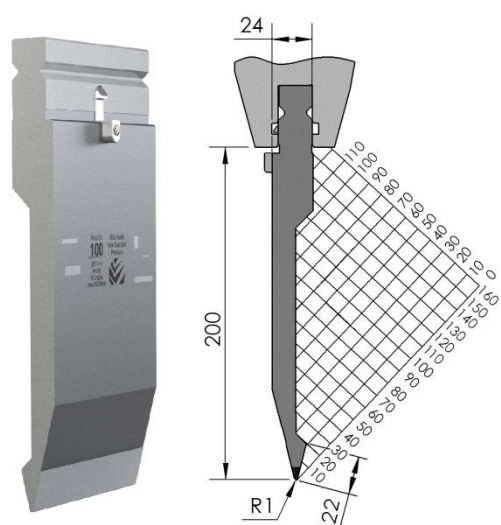
Vzhledem k totožnosti os ohybů, umístěných vedle sebe podél delší strany dílu, je možné tyto sousední ohyby provést na jeden zdvih. Tím dojde ke snížení výrobních časů. Celková délka ohybů č. 1 a č. 2 je přibližně 233 mm, délka ohybů č. 3 a č. 4 je přibližně 155 mm. Na obr. 106 je znázorněn postup, jakým bude ohraňování součásti provedeno. Existují také další možnosti postupu výroby, avšak velmi podobné. Důkladnější zkoumání a posouzení jednotlivých možností nemá vzhledem k velikosti série hlubší význam, proto zde bude uvedena pouze zvolená varianta. Na základě zvoleného postupu budou následně zvoleny ohraňovací nástroje.

Většina ohraňovacích nástrojů ve výrobní společnosti byla dodána firmou Wila. Jako nejvhodnější byl zvolen razník s označením BIU-031 (obr. 107) a bude použit pro všechny ohyby součásti. Poloměr zaoblení zvoleného razníku je $r_p = 1\text{ mm}$, pracovní výška je 200 mm, úhel špičky je 28 ° a hodnota maximálního zatížení dosahuje 600 kN/m. Materiál nástroje je ocel s označením 42CrMo. Jeho pracovní části jsou indukčně kaleny do hloubky 4 mm na tvrdost 56 až 60 HRC. Při volbě vhodného razníku hraje důležitou roli velikost vnitřního poloměru ohybu. Jeho velikost je dána velikostí zaoblení špičky razníku, vnitřní poloměry ohybu tedy budou $R_0 = r_p = 1\text{ mm}$.

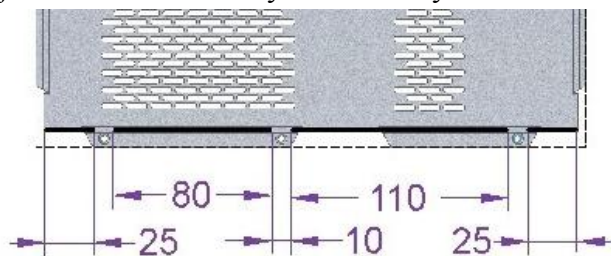
Vzhledem k přítomnosti krčků v blízkosti ohybu je nutné horní nástroj rozdělit tak, aby nedošlo ke kolizi krčku s razníkem. Ohybový nůž tedy nebude působit na materiál v ose ohybu tam, kde je umístěn závitový krček. Na obr. 108 je znázorněno poskládání jednotlivých segmentů při ohýbání ohybů č. 1 a 2. Jak je uvedeno na obrázku, budou použity dva segmenty s délkou 25 mm. Délku 80 mm zajišťují dva segmenty s délkou 40 mm a délka 110 mm je sestavena ze segmentů délky 50 mm a dvakrát 30 mm.



Obr. 106 Postup ohraňování.



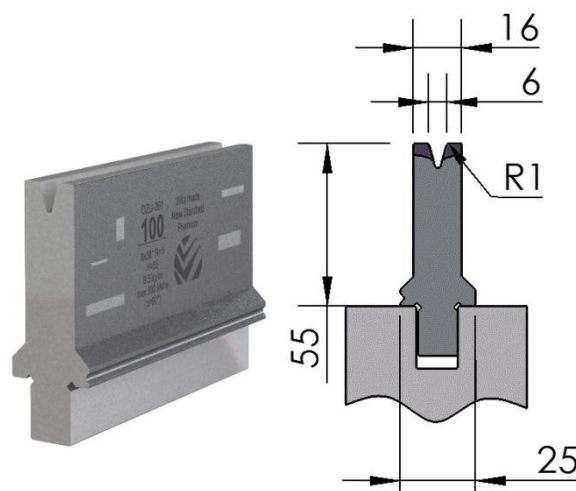
Obr. 107 Razník BIU-031 [27].



Obr. 108 Rozdělení horního nástroje pro ohyby v blízkosti krčků.

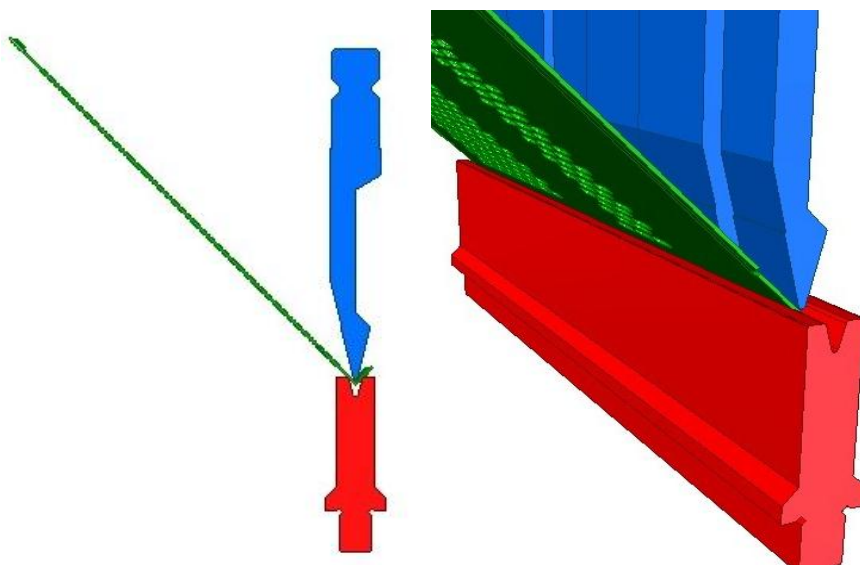
Mezi jednotlivými délkami nástrojů pak vzniká mezera přibližně 10 mm, pro bezpečné ohraňení bez kolize nástroje s krčky. Ve vzniklé mezeře nepůsobí na materiál žádná síla, ale díky kontinuitě napětí dojde k ohraňení dílu i v tomto místě. Vlivem menšího napětí v této oblasti dojde k nedohnutí materiálu do 90 °. Rozdíl úhlů je však tak malý, že tím pro zákazníka nevzniká žádný problém. Pro ohyby č. 3 a 4 bude použit stejný razník o celkové délce 170 mm, který bude složen ze segmentů délek 100 mm, 40 mm a 30 mm.

Při ohýbání tenkých plechů platí obecné pravidlo, že velikost (šířka) matrice by měla v ideálním případě dosahovat alespoň šestinásobku tloušťky plechu. Na základě tohoto vztahu byla zvolena matrice s rozevřením $l_v = 6 \cdot s = 6 \cdot 1 = 6 \text{ mm}$, která nese označení OZU-061 (obr. 109). Tato matrice je taktéž z materiálu 42CrMo a je zakalena na tvrdost 56 až 60 HRC. Pracovní výška matrice je 55 mm, úhel rozevření je 30 ° a poloměr zaoblení náběhových hran je $r_m = 1 \text{ mm}$. Maximální dovolené zatížení je 800 kN/m. Celkovou délku matrice 300 mm (pro ohyby č. 1 a 2) zajišťují dva segmenty dlouhé 200 mm a 100 mm. Pro ohyby č. 3 a 4 postačí jeden segment s délkou 200 mm. Matrici není nutné jakkoliv rozdělovat, protože nebude způsobovat žádnou kolizi.



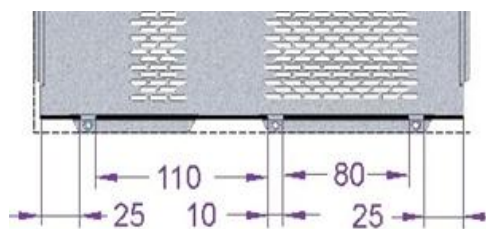
Obr. 109 Matrice OZU-061 [27].

Jak bylo již výše zmíněno, nejprve bude provedeno ohraňení ohybu č. 1 (obr. 110). Rozvinutý díl bude ve stroji ustaven a doražen na dorazové plochy, které budou nastaveny na hodnotu $X_o = 9,1 \text{ mm}$, což je vzdálenost osy ohybu od hrany dílu. Následně dojde k pracovnímu zdvihu a vzniku dvou ohybů o délce 110 mm a 80 mm s délkou ramene 10 mm. Pro bezkolizní operaci je nutné rozdělit nástroje tak, jak je uvedeno na obr. 108.



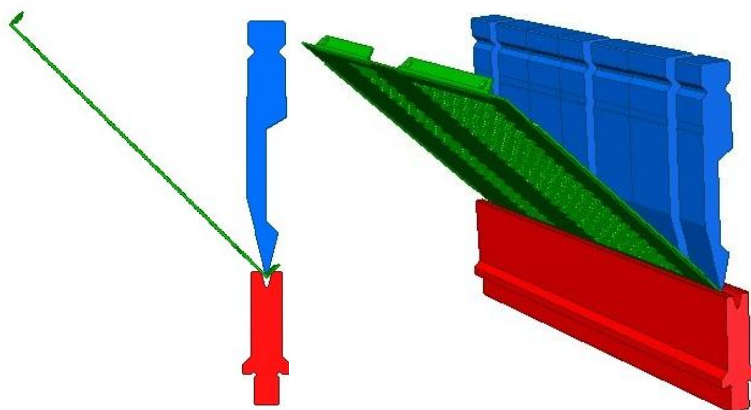
Obr. 110 Ohyb č. 1.

Vzhledem k zrcadlové podobnosti ohybů č. 1 a č. 2 je možné použít stejné nástroje. Avšak při stejném uložení horního nástroje by bylo správné ustavení ve stroji znemožněno (tělo dílu za nástroji bez možnosti ustavení na dorazy), proto jsou v upínací liště vedle současně upnuty stejné nástroje. Jediným rozdílem je prohození složených segmentů délek 110 mm a 80 mm (obr. 111).



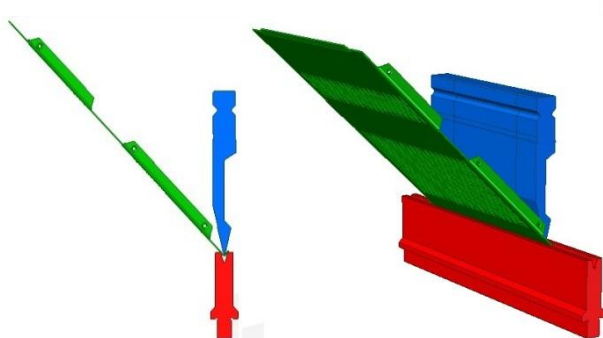
Obr. 111 Rozložení horního nástroje pro ohyb č. 2.

Sestavy nástrojů pro oba ohyby budou upnuty vedle sebe přibližně uprostřed upínací lišty. Po vytvoření ohybu č. 1 se zadní dorazy automaticky přesunou v ose 'Z' ke druhé nástrojové sestavě, kde se po otočení dílu o 180 ° a ustavení ve stroji provede ohyb č. 2 (obr. 112). Pozice dorazů v ose 'X' zůstává stejná ($X_0 = 9,1$ mm). Při provedení ohybů č. 1 a 2 je nutné dbát na správné ustavení, aby nedošlo k deformaci závitových krčků.

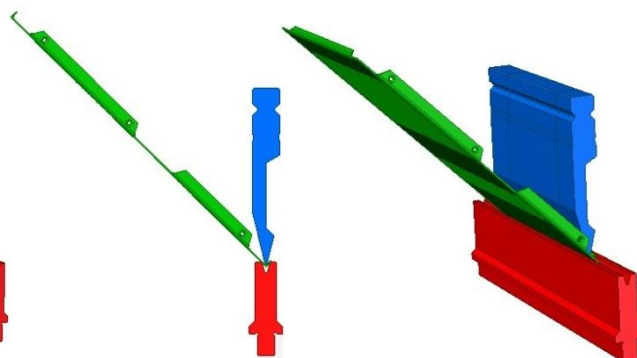


Obr. 112 Ohyb č. 2.

Pro následující dva ohyby jsou potřebné nástroje sestavené jinak než pro předchozí ohyby. Pro snížení vedlejších časů spojených s manipulací (odkládání dílů po druhém ohybu na paletu), jsou v upínací liště upnuty také nástroje pro třetí (obr. 113) a čtvrtý ohyb (obr. 114). Tento nástroj se skládá z razníku o délce 170 mm a matrice s délkou 200 mm. Po vytvoření druhého ohybu se automaticky přestaví zadní dorazy v ose Z do správné pozice ke třetí nástrojové sestavě. V ose 'X' se dorazy přestaví na pozici $X_0 = 5,1$ mm. Po vytvoření druhého ohybu se díl otočí o 90 °, ustaví do správné polohy ve třetí nástrojové sestavě a následně je proveden ohyb č. 3. Posledním krokem je otočení součásti o 180 ° a vytvoření zbylého ohybu ve stejné nástrojové sestavě. Následně je součást uložena na paletu hotových dílů. Díky použití plechového polotovaru s ochrannou laserovou PVC folií je zajištěna adekvátní ochrana broušeného povrchu. Riziko vzniku škrábanců tak klesá na minimum. Tato folie také snižuje vznik otlaků po ohranění, ale nezamezí tomu úplně. Z toho důvodu je nutné použít speciální polyuretanové folie, které se upínají na matrici pomocí držáků, případně magnetů. Při procesu ohýbání pak nedochází ke kovovému styku mezi ohýbaným dílem a matricí, a tím ke vzniku otlaků po nástroji.



Obr. 113 Ohyb č. 3.



Obr. 114 Ohyb č. 4.

4.3.1 Parametry ohybu

S ohledem na technologičnost součásti je nutné zkontrolovat, zda námi zvolený poloměr ohybu ($R_0 = 1 \text{ mm}$) splňuje požadavky týkající se minimálního a maximálního dovoleného poloměru ohybu. Kontrolní výpočet min. a max. poloměru ohybu vychází ze vztahů (3.12) a (3.14). Materiálový součinitel má hodnotu $c_m = 0,6$ (pro měkkou ocel) a mez kluzu je stanovena na minimální hodnotu (v materiálových listech uvedena pouze minimální mez kluzu), tedy $\sigma_k = Re = 186 \text{ MPa}$. Youngův modul pružnosti pro ocel má hodnotu $E = 210 \text{ GPa}$.

$$R_{\min} = c_m \cdot s = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ mm} ,$$

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{210000}{186} - 1 \right) = 564 \text{ mm} .$$

Minimální poloměr ohybu je 0,6 mm a maximální poloměr je 564 mm. Námi zvolený poloměr ohybu tedy splňuje tyto technologické podmínky.

Dalším důležitým aspektem je úhel odpružení. Jeho velikost je dána vztahem (3.9). Součinitel posunutí neutrální plochy je určen dle tab. 8 a má hodnotu $x = 0,42$.

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} = 0,375 \cdot \frac{6}{(1-0,42) \cdot 1} \cdot \frac{186}{210000} ,$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,00343596 \rightarrow \beta = 0,197^\circ .$$

Výsledná hodnota úhlu odpružení je poměrně malá, ale je nutné ji uvažovat a provést korekci nastavení dolní úvratě zdvihu ohraňovacího nože.

Základním parametrem ohraňovacího procesu je ohraňovací síla, kterou musí zvolený stroj disponovat, aby bylo možné provést ohraňování požadovaného dílu. Tato síla také nesmí překročit maximální dovolené zatížení nástrojů, které by se při překročení této hodnoty mohly poškodit. Sílu potřebnou pro ohraňování součásti v délce 1 m lze definovat vztahem (3.19). Hodnota meze pevnosti byla stanovena na maximální hodnotu ($R_m = 686 \text{ MPa}$), velikost rozevření matrice je $l_v = 6 \text{ mm}$.

$$F_{ohr} = \frac{R_m \cdot s^2}{l_v} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot s}{l_v} \right) = \frac{686 \cdot 1^2}{6} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot 1}{6} \right) ,$$

$$F_{ohr} = 190,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} .$$

V závislosti na délce ohybu lze potom definovat velikost ohraňovací síly pro jednotlivé ohyby. Pro ohyb č. 1, kde celková délka ohybu je rovna přibližně $l_{ohr1} = 110 + 80 = 190 \text{ mm}$. Výpočet práce vykonané ohraňovací silou vychází ze vztahu (3.17). Koeficient zaplnění diagramu pro 'V' ohyb je $m_v = 0,33$. Dráha horního nástroje byla určena softwarem ohraňovacího stroje a má hodnotu $h_o = 2,153 \text{ mm} = 0,002153 \text{ m}$. Velikost jednotlivých ohraňovacích sil a prací je uvedena v tab. 18.

$$F_{ov1} = F_{ohr} \cdot l_{ohr1} = 190,5 \cdot 0,19 = 36\,200 \text{ kN} ,$$

$$A_{ov1} = m_v \cdot F_{ov1} \cdot h_o = 0,33 \cdot 36200 \cdot 0,002153 = 25,72 \text{ J} .$$

Tab. 18 Délky ohybů, ohraňovací síly a práce.

Číslo ohybu	Délka ohybu l_o [mm]	Dráha razníku l_{ohr} [mm]	Ohraňovací síla F_{ov} [N]	Střižná práce A_s [J]
1	190	2,153	36 200	25,72
2	190	2,153	36 200	25,72
3	155	2,153	29 528	20,98
4	155	2,153	29 528	20,98

Razník BIU-031 má maximální zatížení $600 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Matrice OZU-061 lze zatížit maximální silou $800 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$. Vypočtené hodnoty nepřesahují maximální dovolené zatížení nástrojů, proto lze zvolené nástroje bez problému použít. Zvolený stroj SafanDarley E-Brake E-100 může vyvinout maximální ohraňovací sílu 1000 kN v maximální délce 3100 mm. Tento stroj také splňuje veškeré požadavky a bude pro ohraňování zadané součásti využit. Specifikace a vybraná data o stroji SafanDarley E-Brake 100 (obr. 115) jsou uvedeny v příloze č. 16. Výrobní program byl vytvořen přímo na stroji pomocí řídicího systému E-Control.



Obr. 115 Ohraňovací stroj SafanDarley E-Brake E-100 ve firmě Limid Mohelno s.r.o.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola zahrnuje zhodnocení výroby součásti Kryt vany regulátoru. A to jak z technického, tak především z ekonomického hlediska. Níže budou porovnány také další technologické možnosti výroby, které připadají v úvahu ve výrobní společnosti Limid Mohelno s.r.o.

5.1 Technické zhodnocení [14]

Základním požadavkem výroby zadané součásti bylo použití technologií, které jsou dostupné ve firmě Limid Mohelno s.r.o. Současně je důležité, aby zvolené stroje splňovaly nároky, které jsou na vyráběnou součást kladeny. S ohledem na technologičnost součásti pro střížné i ohybové operace zadaná součást vyhovuje všem zásadám (minimální vzdálenost otvorů od hrany součásti, vzdálenost mezi otvory, minimální délka ohybového ramene atd.). Pro výrobu rozvinutého tvaru součásti byl zvolen hydraulický vysekávací lis TruPunch 1000, jehož maximální střížná síla je vyšší než maximální síla potřebná pro výrobu dílu. Maximální střížná síla stroje je 160 kN, zatímco nejvyšší střížná síla pro nástroj č. 6 (obdélník $76,2 \times 5$ mm) je přibližně 104,8 kN. Zároveň lze na stroji vytvořit i tvářené prvky, které součást obsahuje. Všemi nástroji, které jsou potřebné pro vysekávací proces, výrobní společnost disponuje. Výjimkou je oválný nástroj 11×3 mm, který je nutné pořídit. Rozměry polotovaru byly zvoleny s ohledem na maximální rozměry, které lze na stroji zpracovat. Jako nejvhodnější polotovar tedy byla zvolena plechová tabule středního formátu ($2500 \times 1250 \times 1$ mm). Vzhledem k požadavku na broušený povrch součásti byl zvolen polotovar s již broušeným povrchem, který je opatřen ochrannou laserovou PVC folií. Díky tomu odpadá operace broušení povrchu a po vysekání dílce následuje ohraňování. Další výhodou je minimální riziko vzniku škrábanců či jiných nežádoucích vad povrchu. Pomocí softwaru TruTopsNest a TruTopsPunch byl vytvořen nástřihový plán a výrobní program. Software automaticky optimalizuje dráhy a zdvihy nástrojů, díky tomu je výsledný strojní čas na nejnižší možné hodnotě. Potřebný čas pro zpracování jedné tabule pro nástřihovou variantu 'B', kdy je na tabuli naskládáno 44 ks, je 1 : 51 : 21 [h : min : s]. Uvedený čas neuvažuje vedlejší časy spojené s manipulací při nakládání a vykládání materiálu. Koeficient využití materiálu zvoleného nástřihového plánu je 79,1 %.

Ohraňování součásti bude provedeno na servo-elektrickém ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100, který je vhodný především pro dílce z tenkých plechů. Zvolený stroj i nástroje splňují potřebné předpoklady, mezi které patří zejména ohraňovací síla. Zvolený ohraňovací stroj disponuje maximální silou 1000 kN. Maximální ohraňovací síla je pouze 36 kN, proto lze zvolený stroj použít. Měrná ohraňovací síla dosahuje hodnoty $190,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, která nepřesahuje maximální zatížení nástrojů ($600 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ pro nůž BIU-031, respektive 800 kN pro matici OZU-061), proto lze tyto nástroje použít. Doba potřebná pro ohraňování součásti byla stanovena na 1,25 minuty.

Zákazník si sám předem zvolil materiál součásti – austenitickou korozivzdornou ocel s označením ČSN 17 240. Jedná se o ocel s velmi dobrou korozní odolností ve vodě, vlhkém prostředí a v prostředí se slabými kyselinami. Ocel má výborné mechanické vlastnosti a je zaručeně svařitelná. Nevýhodou je poměrně vysoká cena kvůli vysokému obsahu poměrně drahých legur.

5.2 Ekonomické zhodnocení

Náklady spojené s výrobou součástí jsou důležitým aspektem, proto je nutné volit technologický postup tak, aby byl ekonomický nejvýhodnější, zároveň však musí být zajištěna požadovaná kvalita výroby. Níže budou porovnány a zhodnoceny jednotlivé výrobní možnosti a položky, které do procesu vstupují.

5.2.1 Náklady na materiál [14]

Polotovarem, který bude použit pro výrobu dílů, je plechová tabule středního formátu s rozměry $2500 \times 1250 \times 1$ mm, který dodá firma Autec-Engineering s.r.o. Pro nástřihový plán s rozložením 44 ks na tabuli ($n_{sou} = 44$), je pro výrobu celé série ($Q = 1200$ ks) potřeba tabulí:

$$nt = \frac{Q}{n_{sou}} = \frac{1200}{44} = 27,27 \cong 28 \text{ ks} . \quad (5.1)$$

Tabule při hustotě $\rho_m = 7900 \text{ kg/m}^3$ a obsahu plochy $S_t = 2,5 \cdot 1,25 = 3,125 \text{ m}^2$ váží:

$$mt = s \cdot S_t \cdot \rho_m = 0,001 \cdot 3,125 \cdot 7900 = 24,69 \text{ kg} . \quad (5.2)$$

Celková hmotnost všech tabulí je:

$$mct = mt \cdot nt = 24,69 \cdot 28 = 691,3 \text{ kg} . \quad (5.3)$$

Celková cena všech tabulí při ceně za jeden kilogram $c1_{p1kg} = 78 \text{ Kč/kg}$ je:

$$c1_p = mct \cdot c1_{p1kg} = 691,3 \cdot 78 = 53\,921,40 \text{ Kč} . \quad (5.4)$$

Množství odpadu z jedné tabule:

$$k_o = 100 - k_{mat} = 100 - 79,1 = 20,9 \% . \quad (5.5)$$

Hmotnost odpadu z jedné tabule:

$$m_o = \frac{m_t \cdot k_o}{100} = \frac{24,69 \cdot 20,9}{100} = 5,16 \text{ kg} . \quad (5.6)$$

Celková hmotnost odpadu:

$$m_{co} = m_o \cdot nt = 5,16 \cdot 28 = 144,5 \text{ kg} . \quad (5.8)$$

Celková cena odpadu při ceně za 1kg šrotu $c1_{po1kg} = 23 \text{ Kč/kg}$:

$$c1_{po} = m_{co} \cdot c1_{po1kg} = 144,5 \cdot 23 = 3\,332,40 \text{ Kč} . \quad (5.9)$$

Celkové náklady na materiál:

$$Nc1_{mat} = c1_p - c1_{po} = 53\,921,40 - 3\,332,40 = 50\,589 \text{ Kč} . \quad (5.10)$$

kde: nt [-]...počet tabulí potřebných pro výrobu celé zakázky,
 ρ_m [kg/m³]... hustota materiálu,
 S_t [m²]... obsah plochy tabule,
 mt [kg]... hmotnost jedné tabule,
 m_{ct} [kg]... celková hmotnost všech tabulí,
 ci_{p1kg} [Kč]... cena za 1 kg materiálu s ochrannou folií,
 ci_p [Kč]... cena za všechny tabule,
 k_o [%]... procentuální množství odpadu,
 m_o [kg]... hmotnost odpadu,
 m_{co} [kg]... celková hmotnost odpadu,
 ci_{po1kg} [Kč]... cena za 1 kg odpadu,
 ci_{po} [Kč]... celková cena odpadu,
 Nci_{mat} [Kč]... celkové náklady na materiál.

5.2.2 Náklady na provoz stroje TruPunch 1000 [14]

Dle nastavovacího plánu, vytvořeného v softwaru TruTopsPunch, je strojní čas 1 : 51 : 21 [h : min : s], což je $t_{1vV1} = 111,35$ min. Strojní čas udává dobu potřebnou pro zpracování jedné tabule bez uvážení vedlejších časů. Mezi vedlejší časy patří nakládání tabule na pracovní stůl, odebírání zbytkové mříže, případně kontrola nástrojů. Tento vedlejší čas byl stanoven na hodnotu $t_{pV1} = 1$ min.

Celkový čas potřebný ke zpracování jedné tabule:

$$tc1_{v1t} = t_{1vV1} + t_{pV1} = 111,35 + 1 = 112,35 \text{ min.} \quad (5.11)$$

Celkový čas potřebný ke zpracování celé zakázky:

$$tc1_{v1z} = tc1_{v1t} \cdot nt = 112,35 \cdot 30 = 3\,370,5 \text{ min.} \quad (5.12)$$

Náklady na minutu provozu stroje TruPunch 1000 činí $N_{v1m} = 20,40$ Kč/min. V nákladech jsou již započteny náklady na energii, údržbu stroje, údržbu nástrojů, provoz výrobních prostor včetně amortizace a mzdu pracovníka. Náklady na vysekání celé zakázky činí:

$$Nci_{v1z} = tc1_{v1z} \cdot N_{v1m} = 3\,370,50 \cdot 20,40 = 68\,758,20 \text{ Kč.} \quad (5.13)$$

kde: ti_{vV1} [min]... strojní čas pro zpracování jedné tabule,
 t_{pV1} [min]... vedlejší čas pro jednu tabuli,
 tci_{v1t} [min]... celkový čas zpracování jedné tabule,
 tci_{v1z} [min]... potřebný čas pro zpracování celé zakázky,
 N_{v1m} [Kč/min]... minutové náklady na provoz vysekávacího stroje,
 Nci_{v1z} [Kč]... náklady na vysekání celé zakázky.

5.2.3 Náklady na nástroje [14]

Pro vysekání Krytu vany regulátoru je použit nástroj oválného tvaru s rozměry 11×3 mm, který dosud nebyl ve vybavení firmy a je nutné jej pořídit u výrobce nástrojů, u firmy Trumpf. Celý nástroj se skládá jednotlivých částí:

- razník: $Nn_{raz} = 1\,512$ Kč
- matrice: $Nn_{mat} = 1\,620$ Kč
- stěrač: $Nn_{st} = 1\,350$ Kč
- speciální povlak razníku (MultiDur TiCN): $Nn_{pov} = 594$ Kč

Celková cena nového nástroje činí:

$$Nn1_{nas} = Nn_{raz} + Nn_{mat} + Nn_{st} + Nn_{pov}, \quad (5.14)$$

$$Nn1_{nas} = 1\,512 + 1\,620 + 1\,350 + 594 = 5\,076 \text{ Kč},$$

kde: $Nn1_{nas}$ [Kč]...celkové náklady na nástroje,
 Nn_{raz} [Kč]...cena razníku,
 Nn_{mat} [Kč]...cena matrice,
 Nn_{st} [Kč]...cena stěrače,
 Nn_{pov} [Kč]...cena za povlak razníku.

5.2.4 Náklady na ohraňování [14]

Další operací je ohraňování součásti na servo-elektrickém ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100. Vzhledem k poměrně malým rozměrům součásti a ochranné folii je manipulace s díly jednoduchá a čas potřebný pro výrobu jedné součásti byl stanoven na 75 s ($t1_{v01} = 1,25$ min). Tento čas uvažuje také kontrolu ohraňovaného dílu, případně korekci výrobního programu.

Celkový čas potřebný pro ohraňování celé zakázky:

$$tc1_{01z} = t1_{v01} \cdot Q = 1,25 \cdot 1200 = 1\,500 \text{ min}. \quad (5.15)$$

Kompletní náklady na provoz stroje SafanDarley E-Brake E-100 činí $N_{01m} = 10$ Kč/min. Náklady uvažují mzdu obsluhy stroje, spotřebu energie, údržbu stroje a nástrojů, a také provoz výrobní haly. Celkové náklady na ohraňování celé série čítající 1200 ks jsou:

$$Nc1_{01z} = tc1_{01z} \cdot N_{01m} = 1\,500 \cdot 10 = 15\,000 \text{ Kč}, \quad (5.16)$$

kde: $t1_{v01}$ [min]... čas potřebný pro ohraňování jednoho kusu,
 $tc1_{01z}$ [min]... čas potřebný pro ohraňování celé zakázky,
 N_{01m} [Kč/min]... náklady na provoz ohraňovacího stroje,
 $Nc1_{01z}$ [Kč]... celkové náklady na ohraňování celé série.

5.2.5 Celkové výrobní náklady

Celkové náklady na výrobu celé série jsou dány součtem jednotlivých nákladů:

$$Nc1 = Nc1_{mat} + Nc1_{v1z} + Nn_{nas} + Nc1_{o1z}, \quad (5.17)$$

$$Nc1 = 50\,589 + 68\,758,20 + 5\,076 + 15\,000 = 139\,423,20 \text{ Kč}.$$

Celková cena jednoho kusu:

$$Nc1_{1ks} = \frac{Nc1}{Q} = \frac{139\,423,20}{1200} = 116,20 \text{ Kč/ks}. \quad (5.18)$$

Náklady na celou sérii se ziskem 20 %:

$$Nc1_{ZISK} = Nc1 \cdot 1,2 = 139\,423,20 \cdot 1,2 = 167\,307,80 \text{ Kč}. \quad (5.19)$$

Cena jednoho kusu se ziskem 20 %:

$$Nc1_{1ksZISK} = \frac{Nc1_{ZISK}}{Q} = \frac{167\,307,80}{1200} = 139,40 \text{ Kč/ks}. \quad (5.20)$$

Čistý zisk z celé série:

$$\check{C}z1 = Nc1_{ZISK} - Nc1 = 167\,307,80 - 139\,423,20. \quad (5.21)$$

$$\check{C}z1 = 27\,884,60 \text{ Kč}.$$

Čistý zisk z jednoho kusu:

$$\check{C}z1_{1ks} = Nc1_{1ksZISK} - Nc1_{1ks} = 139,40 - 116,20, \quad (5.22)$$

$$\check{C}z1_{1ks} = 23,20 \text{ Kč/ks},$$

kde: Nci [Kč]... celkové náklady na výrobu celé série,

Nci_{1ks} [Kč/ks]... cena jednoho kusu,

Nci_{ZISK} [Kč]... náklady na sérii s uvažováním zisku,

$Nci_{1ksZISK}$ [Kč/ks]... cena za kus včetně zisku,

$\check{C}zi$ [Kč]... čistý zisk z celé série,

$\check{C}zi_{1ks}$ [Kč/ks]... čistý zisk z jednoho kusu.

5.3 Srovnání zvoleného technologického postupu s dalšími variantami [14]

Zvolená varianta výroby, která byla popsána výše, je označena jako varianta č. 1. Další možností je použití klasického plechu s matným povrchem bez folie, kde následuje po vysekání dílu broušení v odjehlovací brusce BSM 1300 RRDB, tato varianta je označena jako č. 2. Třetí možností je výroba rozvinutého tvaru pomocí laseru s následným ohraňováním a lisováním matic. A to jak s použitím broušeného plechu s folií (varianta č. 3), tak i plechu s matným povrchem bez folie (broušený povrch vytvořen v odjehlovací brusce). Pro přehlednost jsou jednotlivé varianty znázorněny v tab. 19. Dle normy EN 10088-2 je nutné definovat požadovaný povrch, jejich specifikace je uvedena v příloze č. 17. Značení korozivzdorného plechu s broušeným povrchem a ochrannou folií je +2G (plus nutné upřesnění charakteru povrchu). Za studena válcovaný plech s matně lesklým povrchem bez folie má označení +2B. Pro všechny varianty výroby bude použit polotovár se stejnými rozměry, materiálové využití tedy bude stejné.

Tab. 19 Sled operací pro jednotlivé varianty výroby.

Varianta č.	1	2	3	4
Polotovár	1.4301+2G K240	1.4301+2B	1.4301+2G K240	1.4301+2B
Sled operací	vysekávání	vysekávání	řezání laserem	řezání laserem
	ohranění	broušení povrchu	ohranění	broušení povrchu
		ohranění	lisování matic	ohranění
				lisování matic

- Varianta č. 2: Pro variantu výroby č. 2 je kilová cena materiálu ($1.4301 + 2B$) $c_{2p1kg} = 72$ Kč/kg, cena odpadu zůstává stejná ($c_{po1kg} = 23$ Kč/kg). Při stejném materiálovém využití jsou náklady na materiál následující:

$$c2_p = mct \cdot c2_{p1kg} = 691,3 \cdot 72 = 49\,773,60 \text{ Kč} . \quad (5.23)$$

Celková cena odpadu zůstává stejná jako pro variantu č. 1:

$$c2_{po} = c1_{po} = 3\,332,40 \text{ Kč} . \quad (5.24)$$

Celkové náklady na materiál:

$$Nc2_{mat} = c2_p - c1_{po} = 49\,773,60 - 3\,332,40 = 46\,441,20 \text{ Kč} . \quad (5.25)$$

Náklady na provoz stroje TruPunch 1000 zůstávají stejné, stejně tak i pro nástroje:

$$Nc2_{V1Z} = Nc1_{V1Z} = 68\,758,20 \text{ Kč} , \quad (5.26)$$

$$Nn2_{nas} = Nn_{nas} = 5\,076 \text{ Kč} . \quad (5.27)$$

Po vysekání součásti následuje broušení povrchu na odjehlovací brusce BSM 1300 RRDB, která je součástí strojového parku společnosti. Vzhledem k přítomnosti krčků je nutné při broušení použít speciální přípravek, do kterého se vysekané díly ustaví. Následně může dojít k bezproblémovému přebroušení povrchu. Přípravek tvoří rovný plech s vystřiženými otvory na místech, kde jsou krčky. Díly tak stále zůstanou v kontaktu s podložkou brusky a nedojde k jejich pootočení či deformaci vlivem působení brusného nástroje. Minutová sazba odjehlovací brusky činí $N_{OB1m} = 10$ Kč/min. Čas potřebný pro přebroušení jedné součásti včetně přípravy byl stanoven na 1,5 min ($t2_{vOB1} = 1,5$ min). Potom čas potřebný pro přebroušení celé série a náklady jsou:

$$tc2_{OB1Z} = t2_{vOB1} \cdot Q = 1,5 \cdot 1200 = 1\,800 \text{ min} , \quad (5.28)$$

$$Nc2_{OB1Z} = tc2_{OB1Z} \cdot N_{OB1m} = 1\,800 \cdot 10 = 18\,000 \text{ Kč} , \quad (5.29)$$

kde: N_{OB1} [Kč/min]... náklady na provoz odjehlovací brusky,
 tci_{vOB1} [min]... čas potřebný pro přebroušení jednoho kusu,
 tci_{OB1Z} [min]... čas potřebný pro přebroušení celé série,
 Nci_{OB1Z} [Kč]... celkové náklady na přebroušení celé série.

Poslední operací je ohrazení, které zůstává stejné jako ve zvolené variantě:

$$Nc2_{01z} = Nc_{01z} = 15\,000 \text{ Kč} . \quad (5.30)$$

Celkové náklady na celou sérii pro variantu č. 2 jsou:

$$Nc2 = Nc2_{mat} + Nc2_{V1z} + Nn2_{nas} + Nc2_{OB1z} + Nc_{01z} , \quad (5.31)$$

$$Nc2 = 46\,441,20 + 68\,758,20 + 5\,076 + 18\,000 + 15\,000 ,$$

$$Nc2 = 153\,275,40 \text{ Kč} .$$

Náklady na kompletní výrobu jednoho ks jsou:

$$Nc2_{1ks} = \frac{Nc2}{Q} = \frac{153\,275,40}{1200} = 127,70 \text{ Kč/ks} . \quad (5.32)$$

- Varianta č. 3: Tato možnost spočívá ve zhotovení rozvinutého tvaru pomocí laseru. Tato operace by byla provedena na laserovém stroji TruLaser 3030, jehož parametry jsou uvedeny v příloze č. 18. Polotovarem je tabule s broušeným povrchem a ochrannou folií, z toho důvodu je nutné při dělení materiálu použít odpařování. Při odpařování laserová řezací hlava projede po řezných křivkách s malým řezným výkonem a dochází k odpaření folie, aniž by došlo k oddělení plechového materiálu. Po odpaření folie v místě řezu zůstává čistý plechový materiál a řezná hlava může provést vlastní řez a díl oddělit od zbytku tabule. Výhodou je možnost zpracování bez poškrábání, avšak na úkor zvýšení strojních časů. Pro řezání korozivzdorných materiálů se jako pracovní plyn používá dusík, který zajišťuje čistý řez bez oxidace a bez okují. Po vypálení dílů následuje ohrazení a lisování lisovacích matic. Při řezání laserem stačí mezera mezi jednotlivými díly pouze 5 mm (při vysekávání 15 mm), avšak při použití středního formátu lze na tabuli naskládat taktéž maximálně 44 ks. Náklady na materiál jsou tedy stejné jako pro variantu č. 1:

$$Nc3_{mat} = Nc1_{mat} = 50\,589 \text{ Kč} . \quad (5.33)$$

Rozdíl nastává v nákladech na provoz laserového stroje TruLaser 3030. Stejně jako při vysekávání, pro vytvoření nástřihového plánu byl použit software TruTopsNest. Výrobní program je pak následně vytvořen v softwaru TruTopsLaser, kde jsou automaticky zpracovány dráhy a přejezdy řezací hlavy. Po automatické či ruční optimalizaci dojde k vytvoření výrobního programu a nastavovacího plánu (příloha č. 19), kde jsou potřebné údaje o procesu. Pro variantu č. 3 byl strojní čas stanoven na 9 : 34 : 43 [hod : min : s], tedy $t3_{vL1} = 574,7$ min. Výhodou je, že stroj TruLaser 3030 má 2 stoly a vedlejší čas je snížen na minimum. Čas výměny je 0,5 min, což je doba, za kterou se vymění stůl, který byl právě zpracován, za stůl s nově naloženou tabulí. Vedlejší čas je navíc doplněn o kontrolu výpalku a případné seřízení řezné hlavy a optiky. Celkový vedlejší čas byl stanoven na $t_{pL1} = 1,5$ min. Potom celkový výrobní čas jedné tabule je dán součtem strojního a vedlejšího času:

$$tc3_{L1t} = t3_{vL1} + t_{pL1} = 574,7 + 1,5 = 576,2 \text{ min} . \quad (5.34)$$

Celkový čas potřebný ke zpracování celé zakázky:

$$tc3_{L1z} = tc3_{L1t} \cdot nt = 576,2 \cdot 30 = 17\,286 \text{ min} . \quad (5.35)$$

Náklady na minutu provozu stroje TruLaser 3030 při použití dusíku jako pracovního plynu činí $N_{L1m} = 54 \text{ Kč/min}$.

$$Nc3_{L1z} = tc3_{L1z} \cdot N_{L1m} = 17\,286 \cdot 54 = 933\,444 \text{ Kč} . \quad (5.36)$$

Výhodou je, že odpadá nutnost investice do nových nástrojů, náklady na nástroje jsou tedy nulové ($Nn3_{nas} = 0 \text{ Kč}$). Další výhodou je, že díky chybějícím krčkům není nutné rozdělovat horní nástroje a jednou nástrojovou sestavou lze vytvořit všechny ohyby. Čas na ohraňování jedné součásti se zkrátí na 1 min ($t3_{v01} = 1 \text{ min}$). Celkový čas a náklady na celou sérii potom činí:

$$tc3_{01z} = t3_{v01} \cdot Q = 1 \cdot 1200 = 1\,200 \text{ min} , \quad (5.37)$$

$$Nc3_{01z} = tc3_{01z} \cdot N_{01m} = 1200 \cdot 10 = 12\,000 \text{ Kč} , \quad (5.38)$$

kde: $N_{L1m} [\text{Kč/min}]$... náklady na provoz stroje TruLaser 3030,
 $t_{vL1} [\text{min}]$... strojní čas na zpracování jedné tabule laserem,
 $t_{pL1} [\text{min}]$... vedlejší čas na zpracování jedné tabule laserem,
 $tc_{L1t} [\text{min}]$... celkový výrobní čas pro vypálení jedné tabule,
 $tc_{L1z} [\text{min}]$... celkový výrobní čas vypálení celé zakázky,
 $Nc_{L1z} [\text{Kč}]$... celkové náklady na vypálení celé zakázky.

Poslední operací je lisování lisovacích matic s označením IMPSP M4 (příloha č. 20). Operace lisování bude provedena na malém ohýbacím zařízení. Cena jedné matice byla stanovena na $n_{lismat} = 2,20 \text{ Kč/ks}$. Cena zalisování jedné matice je $n_{lis} = 2 \text{ Kč}$. Při použití 6-ti matic jsou výsledné náklady na lisování jedné součásti a celé série:

$$Nlis3_{1ks} = 6 \cdot (n_{lismat} + n_{lis}) = 6 \cdot (2,20 + 2) = 25,20 \text{ Kč/ks} , \quad (5.39)$$

$$Nclis3_z = Nlis3_{1ks} \cdot Q = 25,20 \cdot 1200 = 30\,240 \text{ Kč} . \quad (5.40)$$

Celkové náklady na celou sérii pro variantu č. 3 jsou:

$$Nc3 = Nc3_{mat} + Nc3_{L1z} + Nn3_{nas} + Nc3_{01z} + Nclis3_z , \quad (5.41)$$

$$Nc3 = 50\,589 + 933\,444 + 0 + 12\,000 + 30\,240 ,$$

$$Nc3 = 1\,026\,273 \text{ Kč} .$$

Náklady na 1 ks potom činí:

$$Nc3_{1ks} = \frac{Nc3}{Q} = \frac{1\,026\,273}{1\,200} = 855,20 \text{ Kč/ks} , \quad (5.42)$$

kde: $n_{lismat} [\text{Kč}]$... cena jedné lisovací matice,
 $n_{lis} [\text{Kč}]$... náklady na lisování jedné matice,
 $Nlisi_{1ks} [\text{Kč/ks}]$... náklady na lisování matic do jednoho kusu,
 $Nlisi_z [\text{Kč}]$... náklady na lisování matic pro celou sérii,
 $Nci [\text{Kč}]$... celkové výrobní náklady lisování matic pro celou zakázku.

- Varianta č. 4: Stejně jako předchozí varianta, tato možnost uvažuje výrobu rozvinutého tvaru pomocí řezání na laseru. Rozdíl je v použití plechu bez folie, díky čemuž odpadá odpařování a dojde k významnému snížení strojního času. Tato operace by byla provedena na laserovém stroji TruLaser 3030. Náklady na materiál jsou stejné jako pro variantu č. 2:

$$Nc4_{mat} = Nc2_{mat} = 46\,441,20 \text{ Kč} . \quad (5.43)$$

Díky pálení laserem bez odpařování je výsledný strojní čas výrazně nižší. Po vytvoření výrobního programu pomocí softwaru TruTopsLaser byl vytvořen také nastavovací plán. Dle nastavovacího plánu pro výrobní variantu č. 4 (příloha č. 21) byl stanoven strojní čas pro zpracování jedné tabule na 4 : 55 : 04 [hod : min : s], v přepočtu pak $t_{vL1} = 295,1$ min. Vedlejší celkový čas je stejně jako ve variantě č. 3 roven 1,5 min ($t_{pL1} = 1,5$ min). Celkový výrobní čas na jednu tabuli je dán:

$$tc_{4L1t} = t_{vL1} + t_{pL1} = 295,1 + 1,5 = 296,6 \text{ min} . \quad (5.44)$$

Celkový čas potřebný ke zpracování celé zakázky:

$$tc_{4L1z} = tc_{4L1t} \cdot nt = 296,6 \cdot 30 = 8\,898 \text{ min} . \quad (5.45)$$

Minutové provozní náklady stroje TruLaser 3030 při použití dusíku jako řezného plynu činí $N_{L1m} = 54$ Kč/min. Celkové náklady na vyřezání celé zakázky laserem jsou:

$$Nc_{4L1z} = tc_{4L1z} \cdot N_{L1m} = 8\,898 \cdot 54 = 480\,492 \text{ Kč} . \quad (5.46)$$

Díky použití laseru odpadají náklady na nástroje ($Nn_{4nas} = 0$ Kč). Při použití nebroušeného plechu je nutné po vypálení dílce ještě přebrousit a vytvořit požadovaný povrch K240. Zhotovení broušeného povrchu by bylo provedeno na odjehlovací brusce BSM 1300 RRDB. Náklady na přebroušení jsou podobné jako při variantě č. 2. K mírnému snížení strojního času dojde díky chybějícím krčkům. Proto není nutné skládat dílce do přípravku, ale rovnou na pracovní pás brusky. Čas potřebný pro přebroušení jedné součásti byl stanoven na 1,2 min ($t_{vOB1} = 1,2$ min). Minuta provozu stroje představuje náklady $N_{OB1m} = 10$ Kč/min. Náklady na celou sérii potom činí:

$$tc_{4OB1z} = t_{vOB1} \cdot Q = 1,2 \cdot 1\,200 = 1\,440 \text{ min} , \quad (5.47)$$

$$Nc_{4OB1z} = tc_{4OB1z} \cdot N_{OB1m} = 1\,440 \cdot 10 = 14\,400 \text{ Kč} . \quad (5.48)$$

Náklady na ohraňování součástí jsou stejné jako pro variantu č. 3:

$$Nc_{4O1z} = Nc_{3O1z} = 12\,000 \text{ Kč} . \quad (5.49)$$

Po ohraňování následuje lisování matic. Náklady na tuto operaci jsou taktéž stejné pro variantu č. 3 i č. 4.

$$Nclis_{4z} = Nclis_{3z} = 30\,240 \text{ Kč} . \quad (5.50)$$

Výsledné celkové náklady na celou sérii jsou dány součtem jednotlivých nákladů:

$$Nc_4 = Nc_{4mat} + Nc_{4L1z} + Nn_{4nas} + Nc_{4OB1z} + Nc_{4O1z} + Nclis_{4z} , \quad (5.51)$$

$$Nc_4 = 46\,441,20 + 480\,492 + 0 + 14\,400 + 12\,000 + 30\,240 ,$$

$$Nc_4 = 583\,573,20 \text{ Kč} .$$

Výroba jednoho ks při dané sérii potom vychází na:

$$Nc_{41ks} = \frac{Nc_4}{Q} = \frac{583\,573,20}{1\,200} = 486,30 \text{ Kč/ks} . \quad (5.52)$$

5.3.1 Porovnání výsledků

Pro přehlednost jsou náklady jednotlivých variant uvedeny v tab. 20.

Tab. 20 Náklady na výrobu pro jednotlivé varianty bez uvážení zisku.

Variant a č.	1	2	3	4
Polotov ar	1.4301+2G K240	1.4301+2B	1.4301+2G K240	1.4301+2B
Sled operací	vysekávání	vysekávání	řezání laserem	řezání laserem
	ohranění	broušení povrchu	ohranění	broušení povrchu
		ohranění	lisování matic	ohranění
				lisování matic
Náklady na celou sérii [Kč]	139 423,20	153 275,40	1 026 273	583 573,20
Náklady na 1 ks [Kč/ks]	116,20	127,70	855,20	486,30

Z výsledků uvedených v tab. 20 plyne, že použitím laseru při výrobě rozvinutého tvaru rapidně vzrůstají náklady na výrobu. To je zapříčiněno především vysokým počtem oválných otvorů, které laser zpracovává mnohonásobně déle než vysekávací lis, který vhodným nástrojem vytvoří daný otvor pomocí jednoho zdvihu. K dalšímu zvýšení nákladů dojde při použití odpařování, při kterém se doba zpracování jedné tabule téměř zdvojnásobí. Z tabulky je také zřejmé, že zvolená varianta č. 1 je z ekonomického hlediska nejvýhodnější. Pro tuto variantu jsou v tab. 21 uvedeny výrobní náklady.

Tab. 21 Výsledné náklady na výrobu.

Náklady na materiál [Kč]	50 589
Náklady na nástroje [Kč]	5 076
Náklady na vysekávání [Kč]	58 758,20
Náklady na ohranění [Kč]	15 000
Celkové náklady [Kč]	139 423,20
Celkové náklady s uvážením 20% zisku [Kč]	167 307,80
Celkový čistý zisk [Kč]	27 884,60
Cena jednoho ks [Kč/ks]	116,20
Cena jednoho ks s uvážením zisku [Kč/ks]	139,40
Čistý zisk z jednoho ks [Kč/ks]	23,20

6 ZÁVĚRY

Zadaná součást s názvem Kryt vany regulátoru plní funkci krytu blíže nespecifikovaného regulačního zařízení kolejových vozidel. Součást je vyráběna z austenitické korozivzdorné oceli ČSN 17 240 o tloušťce 1 mm. Dílec má pohledovou funkci a estetický dojem zajišťuje broušený povrch na pohledové straně dílu. Jako polotovár byla zvolena plechová tabule s broušeným povrchem K240, opatřená ochrannou laserovou folií. Díky tomu odpadá operace broušení povrchu a zároveň je zamezeno poškození pohledových ploch. Rozměry tabule jsou $2500 \times 1250 \times 1$ mm. Z výrobních možností společnosti Limid Mohelno s.r.o. bylo vysekávání a ohraňování zvoleno jako nejvýhodnější technologie. Na vysekávacím lisu TruPunch 1000 bude zhotoven rozvinutý tvar plechového dílce včetně větracích otvorů a závitových krčků. Následně bude provedeno ohraňování součásti, které spočívá ve vytvoření celkem 6-ti pravoúhlých ohybů. Zadaná součást splňuje všechny požadavky, co se týče technologičnosti a je bez problému vyrobitelná obvyklými výrobními procesy.

Technická dokumentace, dodaná zákazníkem, byla upravena a zákazníkem odsouhlasena. Tato úprava spočívá v nahrazení lisovacích matic M4 závitovými krčky M4. Na základě revidovaného výkresu byl vytvořen 3D model součásti a následně rozvinutý tvar. Pro daný rozvin byly vytvořeny nástřihové plány. Dle součinitele využití pak byla zvolena varianta, kde je na tabuli naskládáno celkem 44 ks, s procentuálním využitím materiálu 79,1 %. Pro zvolený nástřihový plán byl poté vytvořen výrobní program společně s nastavovacím plánem. Strojní čas pro zpracování jedné tabule je 111,35 min. Použité nástroje jsou ve vybavení firmy, výjimkou je nástroj pro výrobu oválných otvorů s rozměry 11×3 mm, který je nutné pořídit. Maximální střížné síly potřebné pro vysekání dílu (104,8 kN) zdaleka nedosahují maximální dovolené střížné síly stroje (165 kN), zároveň stroj TruPunch 1000 disponuje možností tváření prvků. Zvolený stroj tedy splňuje veškeré požadavky kladené na součást.

Posléze byl na ohraňovacím lisu SafanDarley E-Brake E-100 navržen postup ohraňování společně s volbou vhodných nástrojů. Pro všechny ohyby byla zvolena matrice OZU-061 a razník BIU-031. Pro zvolené nástroje byly následně vypočteny maximální ohraňovací síly (36 kN) s měrnou hodnotou $190,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$. Maximální ohraňovací síla nepřesahuje dovolené zatížení stroje (1000 kN) a měrné zatížení taktéž nedosahuje maximálních povolených hodnot matrice ($800 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$) a razníku ($600 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$). Pro minimalizaci manipulačních časů budou v upínací liště upnuty tři nástrojové sestavy, díky tomu lze součást ohraňovat při jednom zvednutí z palety. Vzhledem k použití broušeného plechu je ohraňování poslední operací.

Na základě zvoleného technologického postupu bylo provedeno zhodnocení a porovnání s dalšími možnostmi výroby, které připadají v úvahu. Zvolená varianta vychází ekonomicky nejvýhodněji. Pro roční výrobní sérii 1200 ks je cena Krytu vany regulátoru s uvažováním 20% zisku 139,40 Kč/ks. Čistý zisk z jednoho kusu je 23,20 Kč, z celé roční série pak čistý zisk činí 27 884,60 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KUDLÁČ, Lukáš. *Optimalizace procesu vysekávání na stroji TruPunch 1000*. Brno, 2015, 44 s, 1 výkres, 9 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
2. Akademie tváření: Stříhání. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
3. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. ISBN 9788022732420.
4. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s. ISBN 04-234-71.
5. BendGuide. *Trumpf: All about apps* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://trumpf.allaboutapps.at/#/brochures>
6. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983, 213 s. ISBN 04-229-83.
7. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1507-7.
8. Dělicí nástroje k dělení blízko tváření. *Top Lantis* [online]. 2015 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.toplantis.cz/wp-content/uploads/trumpf-delici-nastroje_k-deleni-blizko-tvareni.pdf
9. DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu II*. 3., nezm. vyd. Brno: VUT, 1979. Učební texty vysokých škol.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 9788021434257.
11. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
12. HÁJEK, Pavel. *Výroba krytu*. Brno: FSI VUT v Brně, 2014, 95 s., CD. Diplomová práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
13. INDRA, Jaroslav. *Nekonvenční technologie laserového řezání*. Brno, 2011, 61 s., 1 příloha. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.
14. *INTERNÍ DOKUMENTY: Limid Mohelno s.r.o.* Mohelno, 2017.
15. Katalog nástrojů UKB. *UKB- Uwe Krumm GmbH: Ohraňovací nástroje, Nože do nůžek* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.ukb-gmbh.de/fileadmin/pdf/cz/UKB-Katalog-CZ-9.pdf>
16. KLAZAR, Martin. *Stanovení stupně vtažení zinkové povrchové vrstvy do hrany součástky v závislosti na použité technologii výroby - laserové řezání, vysekávání*. Brno, 2014, 57 s, 4 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování. Vedoucí práce RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

17. LANGR, Aleš. *Nekonvenční technologie výroby rovinných součástí z plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012, 36 s., 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.
18. LEIBINGER-KAMMULLER, Nicol. *Fascination of Sheet Metal*. Vogel Buchverlag: Würzburg, 2006. ISBN 13978-3-8343-3071-0.
19. LENFELD, Petr. Technologie II: Tváření kovů a zpracování plastů. *Technická univerzita Liberec* [online]. 2009 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm
20. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 9788072315796.
21. LIMID s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://limid.cz/>
22. Lisovacie prvky. *IMP Kontakt* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.impkontakt.sk/download/imp_sk_lisovacie_prvky_2013.pdf
23. *Materiálové normy- Novel.sk* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.novel.sk/materialove-normy/>
24. *Materiálový list oceli ČSN 17 240*.
25. *Materiálový list oceli 42CrMo4*.
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. ISBN L-13-B 3-IV-41/22674.
27. Press Brake Tooling. *Wila* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.wilausa.com/Press-Brake-Tooling.aspx?USA-1-180-0>
28. Products. *SafanDarley* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://safandarley.com/uk/products>
29. Punching at a glance. Trumpf GmbH [online]. 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-at-a-glance-brochure-EN.pdf
30. Punching Automation: Simplicity or Complexity? *Fabricating and metal working* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/02/punching-automation-simplicity-or-complexity/>
31. Punching tools Catalog. *Trumpf GmbH* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-tools-catalog-EN.pdf
32. Punching. *Trumpf* [online]. 2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.uk.trumpf.com/en/products/machine-tools/products/punching.html>
33. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
34. Seriál na téma lasery: Laserové řezání. *Lasery a optika* [online]. 2011 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
35. Sheet metal machinery. *LVD Group* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.lvdgroup.com/en/sheet-metal-machinery>

36. Sheet metal stamping parts. *Atlas Tool* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.atlastool.com/>
37. Strojírenství. *Manuál k úspěchu* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.manualkuspechu.cz/index.php/strojirenstvi>
38. Strojírenství. *Wikipedia* [online]. 2017. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Stroj%C3%ADrenstv%C3%AD>
39. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 0071462716.
40. ŠPROCH, Daniel. *Návrh výroby držáku klimatizace*. Brno, 2013. Bakalářská práce. FSI VUT. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, PhD.
41. Technologie mazání rozprašováním. *Trumpf GmbH* [online]. [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://httpwww.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/vysekovani-inovacni-technologie-mazani-rozprasovanim.html>
42. The PUNCH. *PrimaPower: Laser and sheet metal machinery* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.primapower.com/the-punch/>
43. TruLaser 3030/3040. *Trumpf* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/2d-laserove-rezaci-stroje/trulaser-30303040/
44. TruPunch 1000. *Trumpf* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/trupunch-1000-s05/
45. TruPunch: A new standard in punching efficiency. *Trumpf GmbH* [online]. 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Machines_and_Systems/02_Brochures/TRUMPF-punching-machines-brochure-EN.pdf
46. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
47. Tvářecí závitníky. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.dormerpramet.com/downloads/formtaps_cz.pdf
48. VALČÍK, Jan. *Návrh výroby součásti ohýbáním*. Brno, 2010, 62 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
49. Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
50. ZAHRADNÍČEK, Lukáš. *Výroba součástí na ohraňovacím lise*. Brno, 2016, 34 s., CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
51. Závitování s Walter Prototyp. *Walter Tools* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-prototyp-threading-2012-cz.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_{oU}	Ohybová práce pro 'U' ohyb	[J]
A_{oV}	Ohybová práce pro 'V' ohyb	[J]
A_s	Střižná práce	[J]
A_5	Tažnost	[%]
a	Min. vzdálenost otvoru od hrany ohybu	[mm]
a_s	Vzdálenost kruhového otvoru od hrany součásti	[mm]
b	Šířka průřezu	[mm]
b_o	Min. délka ramene ohybu	[mm]
b_s	Vzdálenost čtvercového otvoru od hrany součásti	[mm]
b_1	Šířka ohnutého úseku	[mm]
C_{tv}	Konstanta pro mělké tažení	[-]
c	Součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
c_i	Celková cena za všechny tabule	[Kč]
$c_{i_{po}}$	Celková cena odpadu	[Kč]
$c_{i_{po1kg}}$	Kilová cena odpadu	[Kč/kg]
$c_{i_{p1kg}}$	Cena za 1 kg materiálu	[Kč/kg]
c_s	Vzdálenost průchozí drážky od hrany součásti	[mm]
c_m	Materiálový součinitel	[-]
c_1	Koeficient stírání	[-]
c_2	Koeficient protlačování	[-]
$\check{C}z_i$	Čistý zisk z celé série	[Kč]
$\check{C}z_{i_{ks}}$	Čistý zisk z jednoho kusu	[Kč/ks]
E	Youngův modul pružnosti	[GPa]
F_c	Celková střižná síla	[N]
F_{ctv}	Celková tvářecí síla	[N]
F_k	Kalibrační síla	[N]
F_o	Ohybová síla	[N]
F_{oU}	Ohybová síla pro 'U' ohyb	[N]
F_{oV}	Ohybová síla pro 'V' ohyb	[N]
F_{ohr}	Ohraňovací síla	[kN·m ⁻¹]
F_{pr}	Protlačovací síla	[N]
$F_{př}$	Přidržovací síla	[N]
F_{smax}	Maximální střižná síla	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
F_{st}	Stírací síla	[N]
F_{sx}	Redukovaná střižná síla	[N]
$F_{taž}$	Tažná síla	[N]
H	Minimální vzdálenost ramene od ohybu	[mm]
h	Hloubka vniknutí razníku	[mm]
h_{el}	Hloubka vniknutí razníku při elastické deformaci	[mm]
h_o	Dráha ohybníku	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
h_{pl}	Hloubka vniknutí razníku při plastické deformaci	[mm]
h_r	Výška zbroušení razníku	[mm]
h_s	Hloubka vniknutí v okamžiku oddělení	[mm]
KV	Nárazová práce	[J]
k_{mat}	Součinitel využití materiálu	[%]
k_o	Množství odpadu	[%]
L_c	Výsledná délka rozvinutého tvaru	[mm]
L_{pr}	Pracovní délka razníku	[mm]
L_s	Délka průchozí drážky	[mm]
L_t	Délka tabule	[mm]
l_U	Vzdálenost pro 'U' ohyb	[mm]
l_V	Rozevření matrice ve tvaru 'V'	[mm]
l_i	Délka rovného úseku	[mm]
l_{ohr}	Celková délka ohybu	[mm]
l_s	Délka střižné křivky	[mm]
l_0	Délka neutrální vrstvy	[mm]
M_o	Ohybový moment	[N·m]
mct	Celková hmotnost všech tabulí	[kg]
mt	Hmotnost tabule	[kg]
m_U	Koeficient zaplnění pracovního diagramu pro 'U' ohyb	[-]
m_V	Koeficient zaplnění pracovního diagramu pro 'V' ohyb	[-]
m_{co}	Celková hmotnost odpadu	[kg]
m_o	Hmotnost odpadu z jedné tabule	[kg]
Nci	Celkové náklady na výrobu celé série	[Kč]
Nci_{L1z}	Celkové náklady na vypálení celé zakázky	[Kč]
Nci_{O1z}	Celkové náklady na ohraňování celé série	[Kč]
Nci_{OB1z}	Celkové náklady na přebroušení celé série	[Kč]
Nci_{mat}	Celkové náklady na materiál	[Kč]
Nci_{1ks}	Cena jednoho kusu	[Kč/ks]
$Nci_{1ksZISK}$	Cena za kus včetně zisku	[Kč/ks]
$Nlisi_{1ks}$	Náklady na lisování matic do jednoho kusu	[Kč/ks]
$Nlisi_z$	Náklady na lisování matic pro celou sérii	[Kč]
Nn_{mat}	Cena matrice	[Kč]
Nn_{pov}	Cena za povlak razníku	[Kč]
Nn_{raz}	Cena razníku	[Kč]
Nn_{st}	Cena stěrače	[Kč]
Nni_{nas}	Celkové náklady na nástroje	[Kč]
N_{L1m}	Náklady na provoz stroje TruLaser 3030	[Kč/min]
N_{O1m}	Náklady na provoz ohraňovacího stroje	[Kč/min]
N_{OB1}	Náklady na provoz odjehlovací brusky	[Kč/min]
N_{V1m}	Náklady na provoz vysekávacího stroje TruPunch 1000	[Kč/min]
n	Koeficient otupení nástroje	[-]
nt	Počet tabulí	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
n_{lis}	Náklady na lisování jedné matice	[Kč]
n_{lismat}	Cena jedné lisovací matice	[Kč]
n_{sou}	Počet kusů na tabuli	[-]
p_k	Měrný kalibrační tlak	[MPa]
$p_{př}$	Měrný tlak přidržovače	[MPa]
Q	Velikost série	[ks]
Re	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R_{tv}	Střední poloměr válcové části výtažku	[mm]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
R_0	Poloměr ohybu	[mm]
R_2	Vnější poloměr ohybu	[mm]
r_m	Zaoblení matrice	[mm]
r_p	Zaoblení razníku	[mm]
S	Obsah střižné plochy	[mm ²]
S_k	Obsah kalibrované plochy	[mm ²]
$S_{př}$	Obsah funkční plochy přidržovače	[mm ²]
S_{sou}	Plocha součásti bez otvorů	[mm ²]
S_t	Obsah plochy tabule	[m ²]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s_1	Tloušťka ohnutého úseku	[mm]
$Š_t$	Šířka tabule	[mm]
t	Čas	[s]
tci_{Lit}	Celkový výrobní čas pro vypálení jedné tabule	[min]
tci_{L1z}	Celkový výrobní čas vypálení celé zakázky	[min]
tci_{O1z}	Čas potřebný pro ohrazení celé zakázky	[min]
tci_{OB1z}	Čas potřebný pro přebroušení celé série	[min]
tci_{V1t}	Celkový čas zpracování jedné tabule	[min]
tci_{V1z}	Potřebný čas pro zpracování celé zakázky	[min]
tci_{vOB1}	Čas potřebný pro přebroušení jednoho kusu	[min]
ti_{vL1}	Strojní čas na zpracování jedné tabule laserem	[min]
ti_{vO1}	Čas potřebný pro ohrazení jednoho kusu	[min]
ti_{vV1}	Strojní čas pro zpracování jedné tabule	[min]
t_{pL1}	Vedlejší čas na zpracování jedné tabule laserem	[min]
t_{pV1}	Vedlejší čas pro jednu tabuli	[min]
v	Střižná vůle	[mm]
X	Faktor zešíkmení	[-]
X_o	Vzdálenost osy ohybu od hrany součásti	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální vrstvy	[-]
z	Velikost střižné mezery	[mm]
z_b	Koeficient rozšíření	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
z_s	Koeficient ztenčení	[-]
ΔRe	Zpevnění	[MPa]
Σl_i	Celková délka rovných úseků	[mm]
Σl_{oi}	Celková délka ohnutých úseků	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
α_r	Úhel zbroušení čela razníku	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
ε_{ef}	Efektivní deformace	[-]
ε_i	Poměrná deformace ve směru hlavních napětí	[-]
ε_{tmax}	Maximální trvalá poměrná deformace	[-]
ε_{tmin}	Minimální trvalá poměrná deformace	[-]
λ	Součinitel plnosti	[-]
ρ	Poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_m	Hustota materiálu	[kg/m ³]
σ_{ef}	Efektivní napětí	[MPa]
σ_i	Hlavní napětí	[MPa]
σ_k	Prvotní mez kluzu	[MPa]
σ_n	Normálové napětí	[MPa]
σ_p	Přetvárný odpor	[MPa]
τ_{max}	Maximální střížné napětí	[MPa]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu, střížný odpor	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součásti vyráběné plošným tvářením	10
Obr. 2 Model Krytu vany regulátoru.....	11
Obr. 3 Logo firmy	12
Obr. 4 Řezání laserem	13
Obr. 4 Optický rezonátor.....	13
Obr. 6 Princip vysekávání	14
Obr. 7 Vysekávací lis TruPunch 1000	14
Obr. 8 Ohraňovací lis SafanDarley E-Brake E-100	14
Obr. 9 Razník a matrice.....	15
Obr. 10 Fáze střížného procesu	15
Obr. 11 Schéma volného stříhu	17
Obr. 12 Schéma napjatosti při uzavřeném stříhání	17
Obr. 13 Velikost střížné vůle.....	18
Obr. 14 Střížná síla.....	19
Obr. 15 Délka stříhu	19
Obr. 16 Střížná práce.....	20
Obr. 17 Součinitel plnosti λ	20
Obr. 18 Tvar střížné plochy.....	21
Obr. 19 Technologičnost výstřížku	21
Obr. 20 Nástrojová sestava.....	22
Obr. 21 Razníky	23
Obr. 22 Porovnání průběhu střížné síly.....	23
Obr. 23 Geometrie čela razníku	23
Obr. 24 Matrice	24
Obr. 25 Systém EasyUse	24
Obr. 26 Matrice zachytávající odpad	24
Obr. 27 Matrice s kartáčky	24
Obr. 28 Stěrač.....	25
Obr. 29 PU stěrač	25
Obr. 30 Stěrač jako upínací prvek	25
Obr. 31 Ustavovací kroužek.....	26
Obr. 32 Nástrojová kazeta.....	26
Obr. 33 Banana tool	27
Obr. 34 Rádusový nástroj.....	27
Obr. 35 Vícenásobný nástroj	27
Obr. 36 Dělicí nástroj	27
Obr. 37 Metoda Slitting.....	28
Obr. 38 Metoda MultiShear	28
Obr. 39 Nástroj MultiBend.....	29
Obr. 40 Průtah	29
Obr. 41 Schéma protahovacího nástroje nahoru	30
Obr. 42 Profil tvářeného závitu	30
Obr. 43 Základní části stroje	31
Obr. 44 'C' rám stroje TruPunch 1000	31
Obr. 45 'O' rám stroje firmy PrimaPower	31
Obr. 46 Hydraulická hlava	32
Obr. 47 Elektrická hlava.....	32
Obr. 48 Pohyb beranu hydraulické a elektrické vysekávací hlavy	32
Obr. 49 Lineární zásobník.....	33

Obr. 50a Kartáčový stůl	33
Obr. 50b Stůl opatřený kuličkovými ložisky	33
Obr. 51 Třídící systém.....	34
Obr. 52 Pohybový mechanismus.....	34
Obr. 53 Plně automatizovaný stroj TruPunch 5000	34
Obr. 54 Schéma ohraňování	35
Obr. 55a Ohyb osamocenými silami	35
Obr. 55b Ohyb vnějšími momenty	35
Obr. 56 Schéma ohybu	36
Obr. 57 Ohyb úzkých tyčí	36
Obr. 58 Ohyb širokých pásů.....	36
Obr. 59 Rozložení napětí v průřezu v jednotlivých fázích ohybu.....	37
Obr. 60 Rozvinutá délka polotovaru	38
Obr. 61 Ohyb na 180°	38
Obr. 62 Schéma odpružení	39
Obr. 63 Závislost ohybového momentu na křivosti	39
Obr. 64 Ohyb do tvaru 'V' a 'U'	39
Obr. 65 Deformační schéma ohybu.....	40
Obr. 66 Průběh ohybové síly.....	41
Obr. 67a Vliv směru vláken	42
Obr. 67b Natočení vláken.....	42
Obr. 68a Kolmé okraje ohybu	42
Obr. 68b Vyvalení okrajů.....	42
Obr. 69 Vyříznutí rohu	43
Obr. 70 Nastřížení ohybu	43
Obr. 71 Minimální délka ramene a vzdálenost otvoru od hrany ohybu	43
Obr. 72 Ohraňovací nástroj	44
Obr. 73 Segmentové dělení ohraňovacího nástroje.....	44
Obr. 74 Části razníku	45
Obr. 75 Tvary razníků	45
Obr. 76 Zatížení a deformace razníku	45
Obr. 77 Části matrice	45
Obr. 78 Zatížení a deformace matrice	46
Obr. 79 Tvary matic	46
Obr. 80 Mechanické upínání	46
Obr. 81 Rychloupínací páka.....	46
Obr. 82 Hydraulické upínání	47
Obr. 83 Bezpečnostní pojistka	47
Obr. 84 Prodloužení horního nástroje	47
Obr. 85a Adaptér spodního nástroje.....	47
Obr. 85b Adaptér horního nástroje.....	47
Obr. 86 Hydraulický ohraňovací lis	48
Obr. 87 Tandemové ohraňování.....	48
Obr. 88 Princip servoelektrického pohonu.....	49
Obr. 89 Průběh síly servoelektrického pohonu	49
Obr. 90 Průhyb beranu a bombírovací systém	49
Obr. 91 Drážkovaný stůl	49
Obr. 92 Opěrná konzola	50
Obr. 93 Systém zadních dorazů.....	50
Obr. 94 Otočné dorazy	50

Obr. 95 Systém měření ACB.....	50
Obr. 96 Profil závitového krčku	51
Obr. 97 Rozvinutý tvar krytu	51
Obr. 98 Profil ohybů.....	52
Obr. 99 Rozložení součástí na tabuli.....	52
Obr. 100 Varianta 'A'	53
Obr. 101 Varianta 'B'	53
Obr. 102 Varianta 'C'	53
Obr. 103 Ohybový výštíp před a po ohraňení	54
Obr. 104 Postup výroby	55
Obr. 105 Stroj TruPunch 1000 ve firmě Limid Mohelno s.r.o.....	57
Obr. 106 Postup ohraňení.....	58
Obr. 107 Razník BIU-031	58
Obr. 108 Rozdělení horního nástroje pro ohyby v blízkosti krčků	58
Obr. 109 Matrice OZU-061	59
Obr. 110 Ohyb č. 1	59
Obr. 111 Rozložení horního nástroje pro ohyb č. 2	60
Obr. 112 Ohyb č. 2	60
Obr. 113 Ohyb č. 3	60
Obr. 114 Ohyb č. 4.....	60
Obr. 115 Ohraňovací stroj SafanDarley E-Brake E-100 ve firmě Limid Mohelno s.r.o.	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Ekvivalentní označení zadané oceli	11
Tab. 2	Chemické složení oceli 17 240	11
Tab. 3	Mechanické vlastnosti oceli 17 240	11
Tab. 4	Střížná vůle pro jednotlivé materiály	18
Tab. 5	Koeficient stírání a protlačování	20
Tab. 6	Výrobní tolerance nástroje a výrobku	21
Tab. 7	Technologické parametry výstřižku	22
Tab. 8	Minimální rozměry otvorů výstřižků	22
Tab. 9	Koeficient rozšíření v závislosti na poměru šířky a tloušťky polotovaru	38
Tab. 10	Součinitel posunutí neutrální plochy a koeficient ztenčení	38
Tab. 11	Materiálový součinitel c_m pro vybrané materiály	40
Tab. 13	Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4 v zušlechtěném stavu	44
Tab. 14	Doporučené rozměry otvoru pro metrický závit (základní řada)	54
Tab. 15	Seznam použitých nástrojů	55
Tab. 16	Práce a síly jednotlivých střížných nástrojů	56
Tab. 17	Technická data stroje TruPunch 1000 střední formát	57
Tab. 18	Délky ohybů, ohraňovací síly a práce	62
Tab. 19	Sled operací pro jednotlivé varianty výroby	68
Tab. 20	Náklady na výrobu pro jednotlivé varianty bez uvážení zisku	72
Tab. 21	Výsledné náklady na výrobu	72

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Faktor zešíkmení
Příloha č. 2	Značící a popisovací operace
Příloha č. 3	Standardní tvary děrovacích nástrojů
Příloha č. 4	MultiTool
Příloha č. 5	Příklady tvářených prvků
Příloha č. 6	Diagram odpružení
Příloha č. 7	Určení ohraňovací síly
Příloha č. 8	Pracovní diagramy vybraných razníků
Příloha č. 9	Příklady speciálních ohraňovacích nožů
Příloha č. 10	Příklady speciálních ohraňovacích matic
Příloha č. 11	Příklady nástrojů pro složité profily
Příloha č. 12	Typy upínání
Příloha č. 13	Nastavovací plán pro zvolenou výrobní variantu (č. 1)
Příloha č. 14	Prostředí použitých softwarů
Příloha č. 15	Technická data stroje TruPunch 1000
Příloha č. 16	Ohraňovací lis Safan Darley E-Brake E-100
Příloha č. 17	Specifikace povrchu plechových tabulí dle EN 10 088-2
Příloha č. 18	Laserový stroj TruLaser 3030
Příloha č. 19	Nastavovací plán pro výrobní variantu č. 3
Příloha č. 20	Katalogový list matice IMPSP M4
Příloha č. 21	Nastavovací plán pro výrobní variantu č. 4

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

KRYT VANY REGULÁTORU	2017-DP-152812_A	Výkres součásti
KRYT VANY REGULÁTORU	2017-DP-152812_B	Výkres součásti

Příloha č. 1: Faktor zešikmení [31]

Střížná síla a zešikmení

Jaká je vynaložena střížná síla, závisí na různých faktorech. Na jedné straně závisí na tloušťce plechu a délce střížné hrany, na druhé straně na broušení razníku.

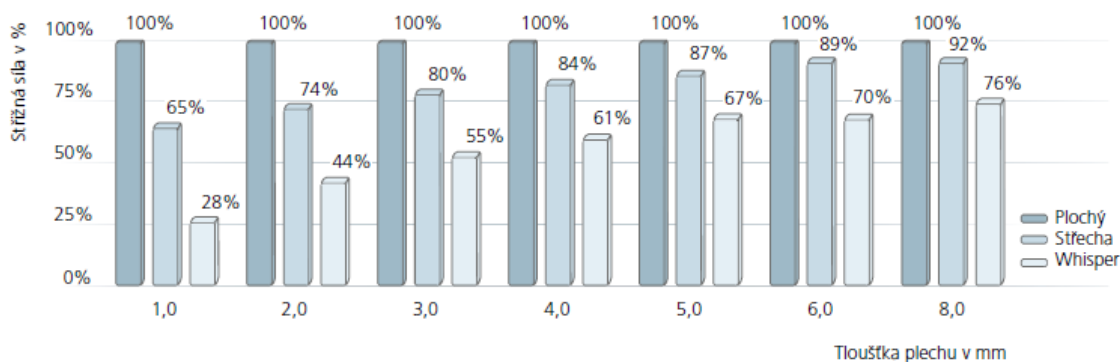
Šikmý razník

Razníky se šikmým broušením jsou o 3 mm delší než razníky s plochým broušením. Prodloužená délka je díky zešikmení, které je pod úhel max. 5°. TRUMPF nabízí šikmé broušení zdarma.

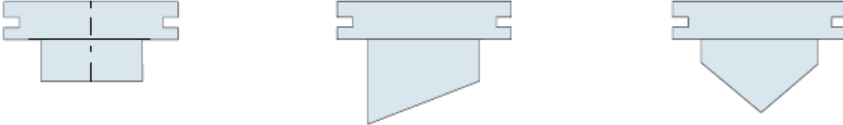
Od určité opsané kružnice razníku přináší použití šikmého razníku značné výhody:

- Snížení deformací díky snížení napětí plechu až o 20%
- Snížení hladiny hluku až o 14 dB(A), což odpovídá snížení hlučnosti až o 50%
- Redukce potřebné střížné síly až o 72%, v závislosti na tloušťce plechu

Vliv broušení razníku a tloušťky plechu na střížnou sílu:



Faktor zešikmení

Tloušťka plechu s (v mm)	Faktor zešikmení X – plochý	Faktor zešikmení X – Whisper	Faktor zešikmení X – střecha
			
1,0	1,00	3,50	1,53
1,5	1,00	2,66	1,44
2,0	1,00	2,25	1,35
2,5	1,00	2,00	1,30
3,0	1,00	1,83	1,25
3,5	1,00	1,71	1,11
4,0	1,00	1,62	1,19
5,0	1,00	1,50	1,15
6,0	1,00	1,41	1,12
8,0	1,00	1,31	1,08
10,0	1,00	1,25	ca. 1,00

Příloha č. 2: Značící a popisovací operace [29, 31]

Označování plechových dílů je důležité z různých důvodů (sériová čísla, rok výroby, firemní loga atd.) Pro tyto účely slouží různé popisovací a značící nástroje. Značka nebo symbol je vytlačen do povrchu plechu a dojde k vytvoření malých prohlubní v řádech desetin mm. Základní metodou je ražení, kdy je popis vytvořen jedním pracovním zdvihem. Další metodou je gravírování pomocí jehly.



Důlčikování



Ražení znaků



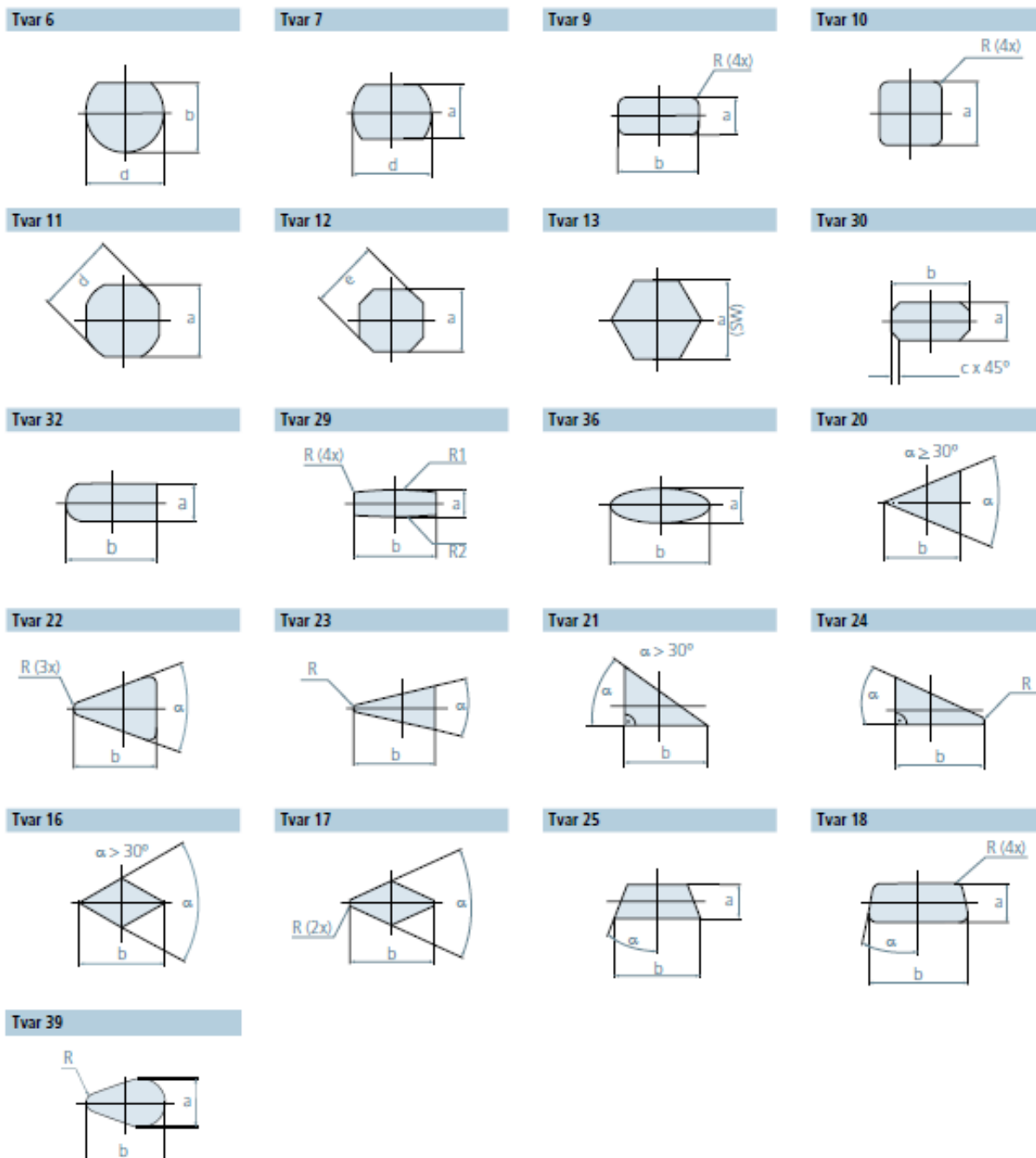
Gravírování

Příloha č. 3 Standardní tvary děrovacích nástrojů [31]

Kromě čtverce, obdélníku, kruhu a oválu patří mezi standardní nástroje tvary uvedené na obrázku.

Děrování

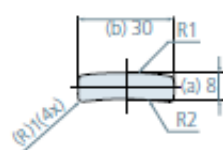
Tvary kategorie A



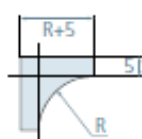
Děrování

Tvary kategorie B

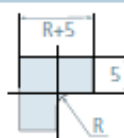
Tvar 37



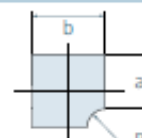
Tvar 35



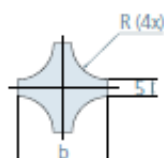
Tvar 15



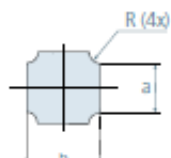
Tvar 15



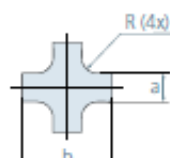
Tvar 14



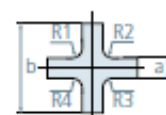
Tvar 14



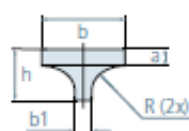
Tvar 14



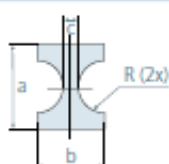
Tvar 40



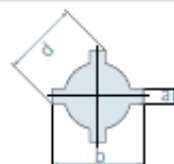
Tvar 28



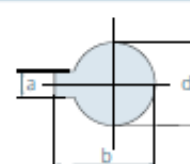
Tvar 31



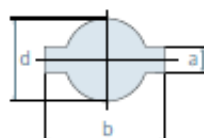
Tvar 27



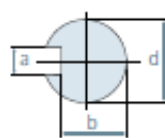
Tvar 1



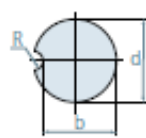
Tvar 2



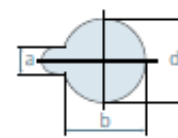
Tvar 3



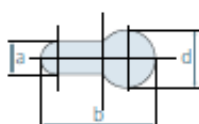
Tvar 38



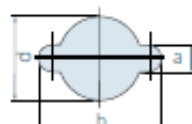
Tvar 4



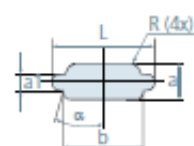
Tvar 5



Tvar 8



Tvar 19



Příloha č. 4 MultiTool [31]

MultiTool je speciální nástroj, ve kterém je integrováno více menších nástrojů v podobě vložek razníků a matricových vložek. Tyto jednotlivé vložky lze snadno měnit a dle potřeby nahrazovat jinými vložkami. MultiTool je dostupný ve více verzích, kdy je v nástroji MultiTool umístěno celkem 4, 5, 6 nebo 10 razníků a matric. Díky tomu je možné jednu pozici v lineárním zásobníku osadit až deseti nástroji. Tyto nástroje jsou však pro jednoduché tvary menších rozměrů. Výhodou je možnost osazení velkým počtem nástrojů. Dalším plusem je rychlá výměna nástroje (v MultiToolu trvá pouze 2,2 s, zatímco klasická výměna trvá minimálně 4,4 s), což vede ke zvýšení produktivity.



MultiTool

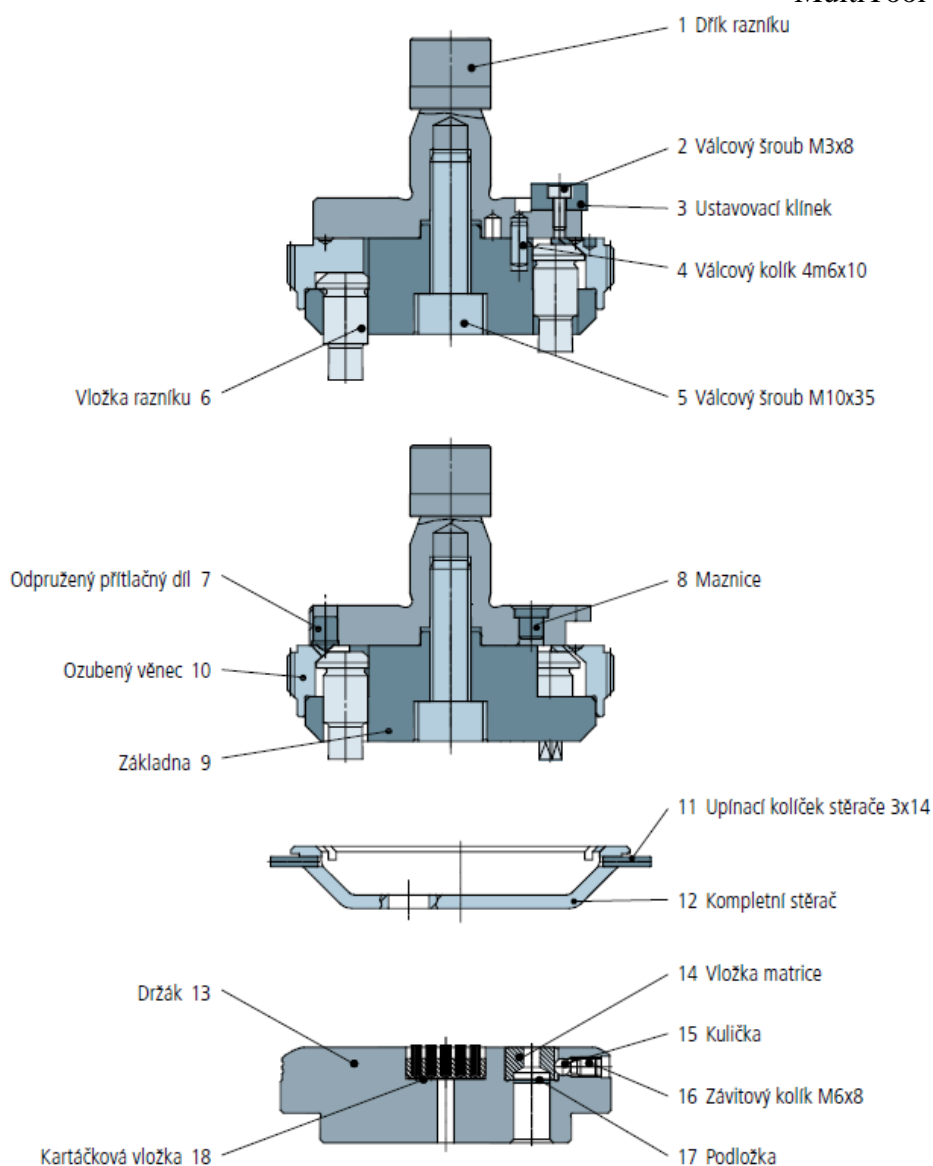
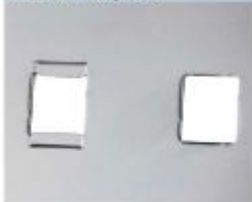


Schéma desetinásobného MultiToolu

Příloha č. 5 Příklady tvářených prvků [31]

Zahlobení

1. Zahlobení ploché



2. Zahlobení obdélníkové



3. Zahlobení vroubkované



4. Zahlobení zoubkované



Nastřížení

5. Nastřížení oválné



6. Nastřížení dvojité



7. Nastřížení tvarové



8. Nastřížení tvarové



Lemování

9. Lemování protažení



10. Lemování protažení



11. Lemování hrany



12. Lemování tvarové



Můstky

13. Můstky s prosazením



14. Můstky (závit)



15. Můstky (pant)



16. Můstky (bajonetový spoj)



17. Můstky do střechy



18. Můstky do střechy



19. Můstky dvojité



20. Můstky do střechy



Vedení karet

21. Vedení karet



22. Vedení karet



Protažení

23. Protažení tvarové



24. Protažení klíčové díry



25. Protažení vroubkované



26. Protažení (ochranná průchodka)



27. Protažení tvarové



28. Protažení oválné



Žábry

29. Žábry vícenásobné



30. Žábry trapézové



31. Žábry obdélníkové



32. Žábry trapézové



33. Žábry obdélníkové



34. Žábry kruhové



35. Žábry obdélníkové

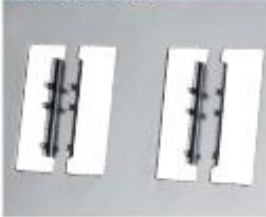


36. Žábry kruhové



Jazyčky

37. Jazyčky dvojitě



38. Jazyčky tvarové



39. Jazyčky tvarové



40. Jazyčky (kontakt)



Jazyčky

41. Jazyčky přesazené



42. Jazyčky vlnité



43. Jazyčky vlnité



44. Jazyčky tvarové



45. Jazyčky odpružené



46. Jazyčky (větrání)



47. Jazyčky oválné



48. Jazyčky vlnité



Misky

49. Misky čtvercové



50. Misky se závitem do plechu



51. Misky kulovité



52. Misky vícenásobné



53. Misky šestihhranné



54. Misky s dírami



55. Misky kulovité



56. Misky šestihhranné



57. Misky s protažením nahoru



58. Misky s protažením dolů



59. Misky s dírou



60. Misky oválné vícenásobné



Misky

61. Misky do střechy



62. Misky šestihránné



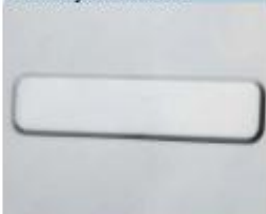
63. Misky pyramidové



64. Misky tvarové



65. Misky obdélníkové



66. Misky s protažením



67. Misky tvarové



68. Misky oválné



Svařovací hrbolky

69. Svařovací hrbolky



70. Svařovací hrbolky vícenásobné



Zapuštění

71. Zapuštění sřezovité



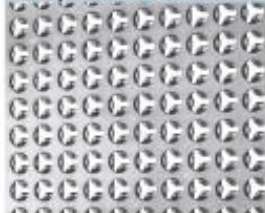
72. Zapuštění protiskluzové



73. Zapuštění kruhové



74. Zapuštění vroubkované



75. Zapuštění čtvercové



76. Zapuštění s čtvercovou dírou



Výstupky

77. Výstupky obdélníkové



78. Výstupky nahoru/dolů



79. Výstupky (slepecké písmo)



80. Výstupky s dírou



Příloha č. 6 Diagram odpružení [11]

Pomocí diagramu na obrázku je možné určit koeficient odpružení 'K'. Součást se ohne na poloměr R_1 pod úhlem α_1 . Pod odtížením se pak dosáhne požadovaných hodnot. Níže uvedený vztah je platný pro velké rádiusy, kdy $R/s \geq 20$.

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot s}{R_2 + 0,5 \cdot s}$$

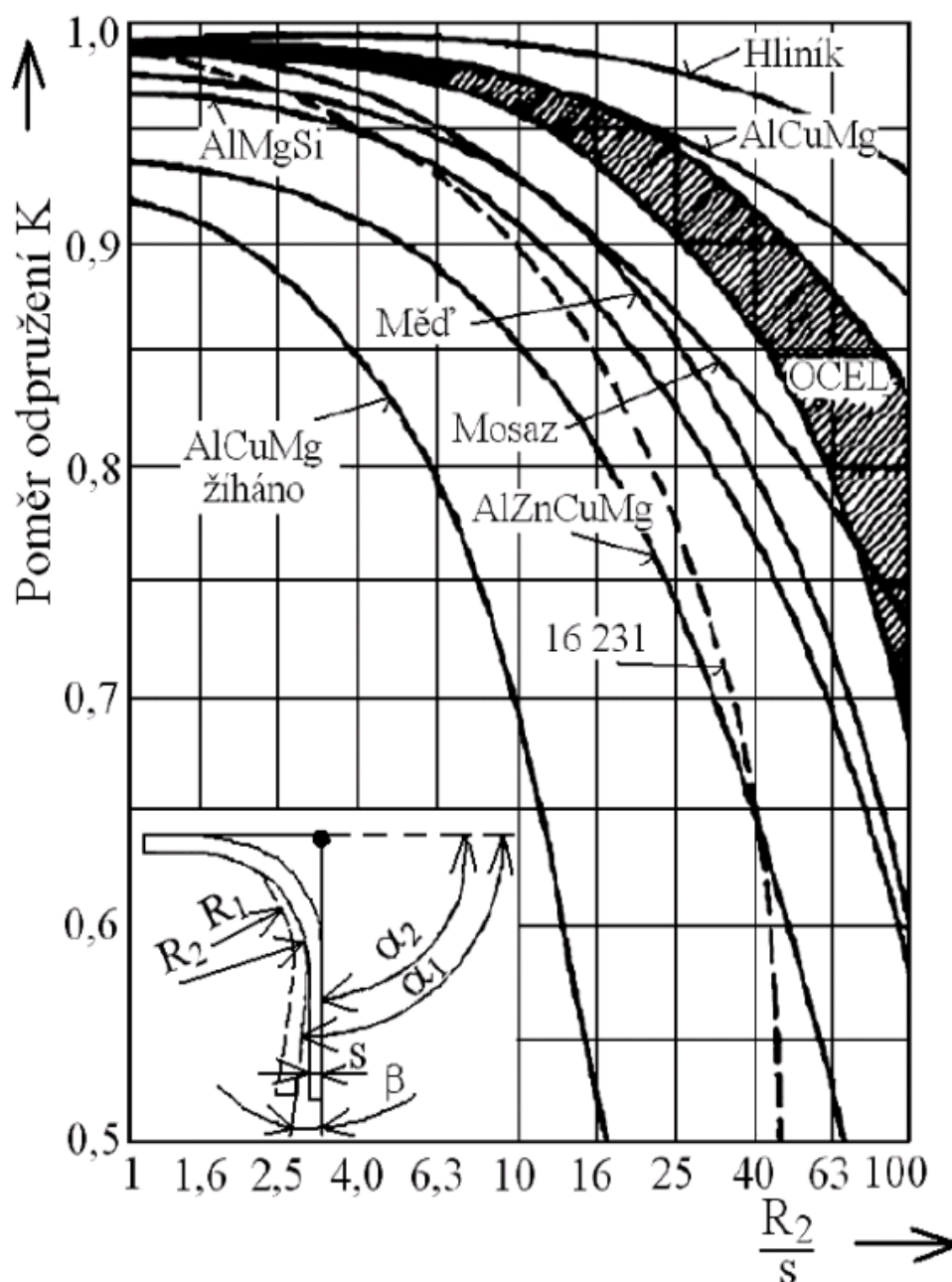


Diagram odpružení

Příloha č. 7 Určení ohraňovací síly [15]

Tabulka tlaků: Požadovaná tlačná síla pro 90° ohýbání do vzduchu, pevnost v tahu R _m = 450 N/mm ²																					
t (mm)	4	6	7	8	10	12	14	16	18	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	V (mm)	
	2,9	4,3	5	5,7	7,1	8,5	9,9	11,4	12,8	14,2	17,7	22,7	28,3	35,4	44,6	56,6	70,8	88,4	113,2	b (mm)	
	0,7	1	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	4	5	6,3	7,9	9,9	12,5	15,7	19,6	25	r _i (mm)	
0,5	42	25																			
0,75	111	63	52	44	33	26															
1		125	101	84	63	50	41	35													
1,25		215	172	143	105	83	68	58	50	44											
1,5		338	269	221	162	127	103	87	75	66											
2					324	250	202	169	144	126	95										
2,5						430	344	286	243	211	158	115									
3								443	375	324	240	174	132								
4										648	472	338	252	190	143						
5												571	422	315	235	176					
6												886	648	480	355	263					
8														945	689	504	380	289	216		
10																844	630	475	352		
12																	959	717	527		
15	F v kN/m																			870	

Příklad: $t = 2,0 \text{ mm}$

Optimální šířka otevření matrice V:

12 mm

Nejkratší ohyb b:

8,5 mm

Vnitřní rádius r_i :

1,9 mm

Potřebná tlačná síla F:

250 kN/m

Pevnost v tahu

Hliník	$R_m = 200 - 300 \text{ N/mm}^2$
Ocel	$R_m = 370 - 450 \text{ N/mm}^2$
Nerezová ocel	$R_m = 650 - 700 \text{ N/mm}^2$

Výpočet optimální šířky
otevření matrice V (v mm)

Tloušťka materiálu t	0,5 - 2,5	3,0 - 8,0	9,0 - 10,0	12,0 a více
Šířka otevření matrice V	$6 \times t$	$8 \times t$	$10 \times t$	$12 \times t$

Výpočet tlačné síly F (v kN/m)

$$F = \frac{R_m \times t^2}{V} \times \left(1 + \frac{4 \times t}{V}\right)$$

Otěrůvzdorné,
rezavě nebo plechy
neošetřené olejem
značně zvyšují
požadovanou
tlačnou sílu.

Výpočet nejkratšího
ohybu b (v mm)

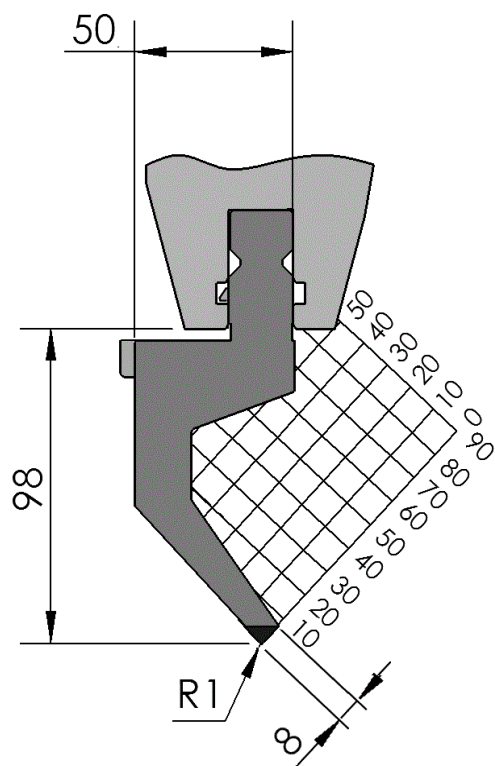
Úhel α	165°	135°	120°	90°	60°	45°	30°
Nejkratší ohyb b	$0,51 \times V$	$0,55 \times V$	$0,58 \times V$	$0,71 \times V$	$1 \times V$	$1,31 \times V$	$1,94 \times V$

Výpočet vnitřního
rádiusu r_i (v mm)

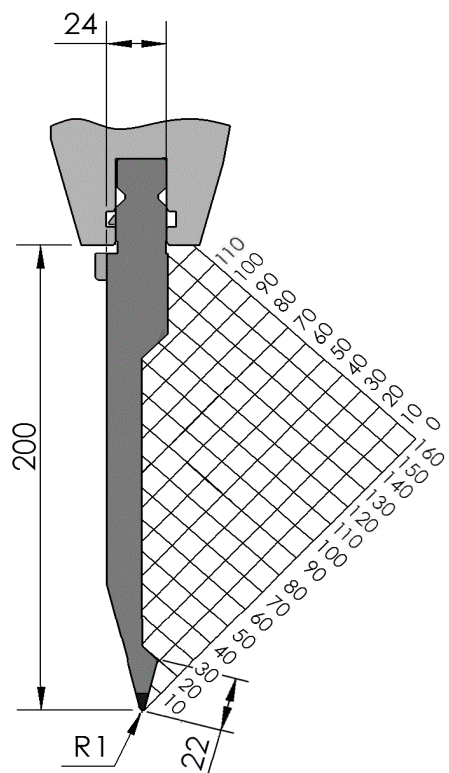
$$r_i = \frac{5 \times V}{32}$$

Určení ohraňovací síly pro dané nástroje

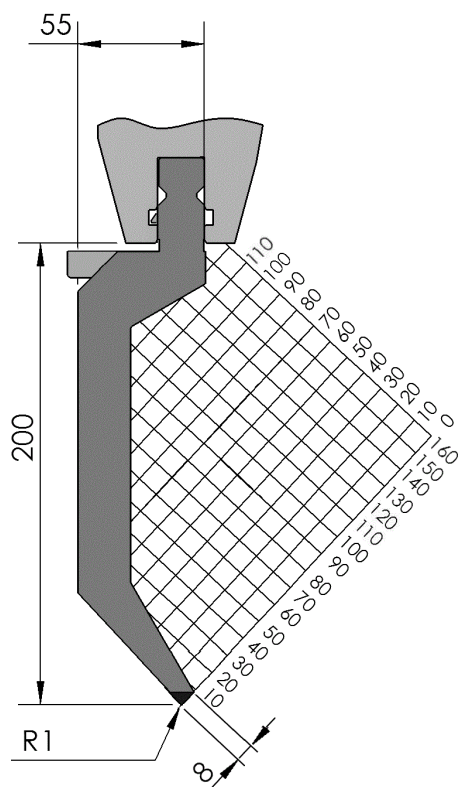
Příloha č. 8 Pracovní diagramy vybraných razníků [27]



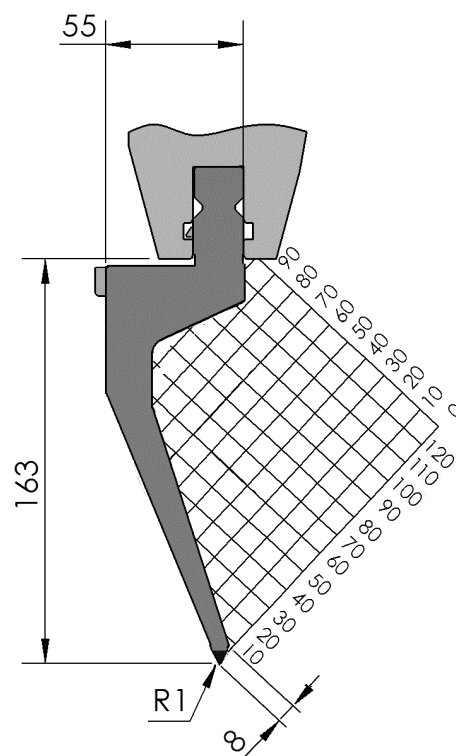
Razník BIU-003



Razník BIU-031

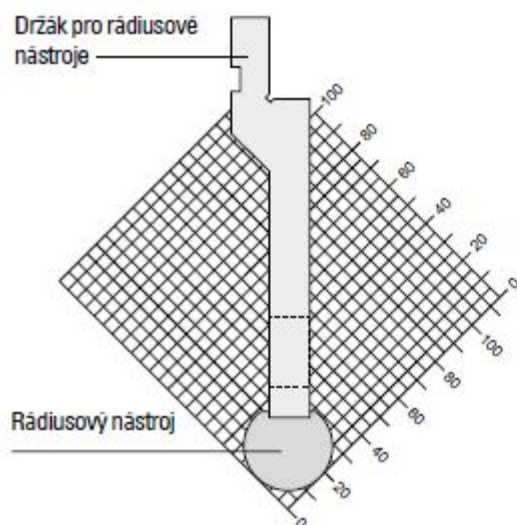


Razník BIU-033

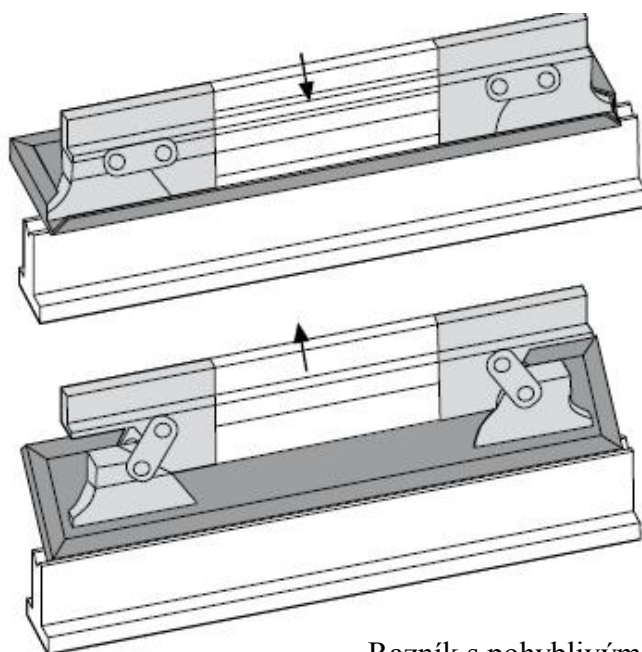


Razník BIU-226

Příloha č. 9 Příklady speciálních ohraňovacích nožů [15]



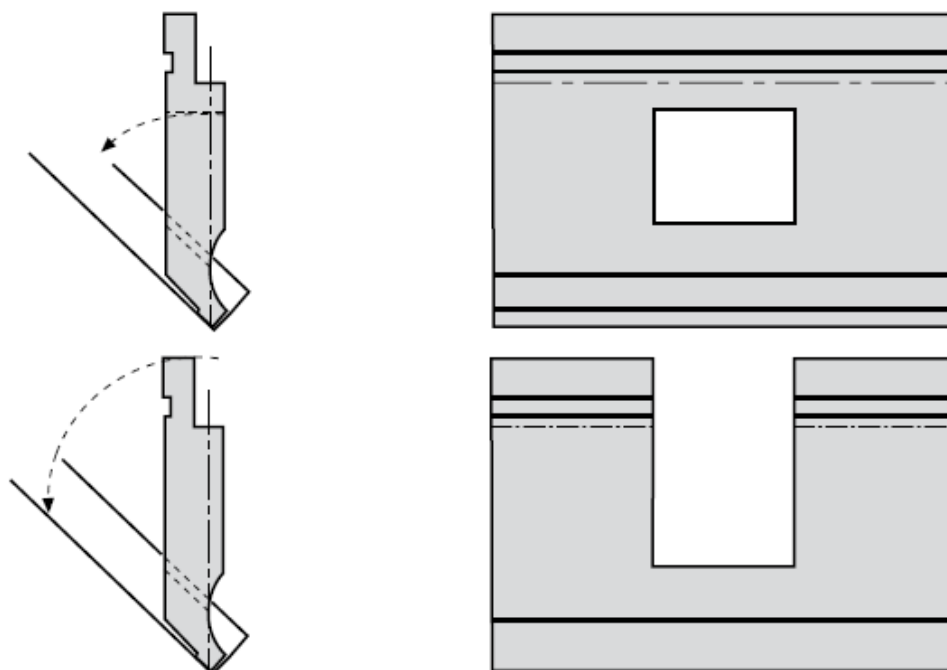
Rádiusový nástroj a detail upínání



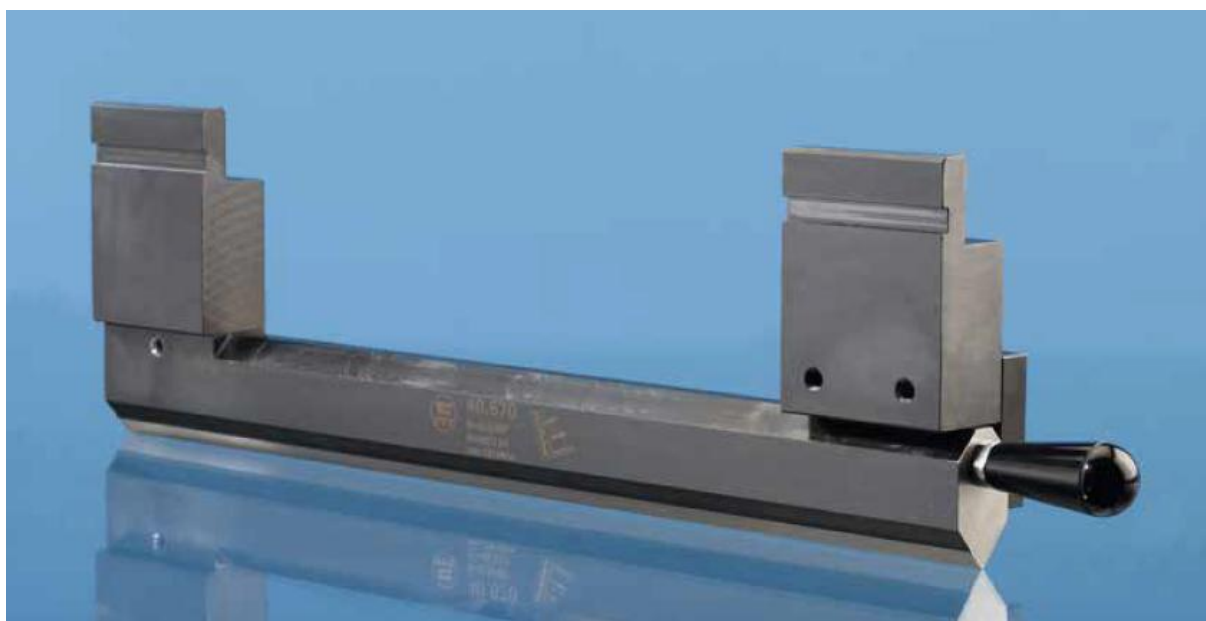
Razník s pohyblivými vyhnutými rohy



Razník s vyhnutými rohy



Razník s oknem



Razník pro uzavřené profily

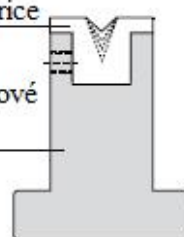
Příloha č. 10 Příklady speciálních ohraňovacích matic [15]

VÝHODY

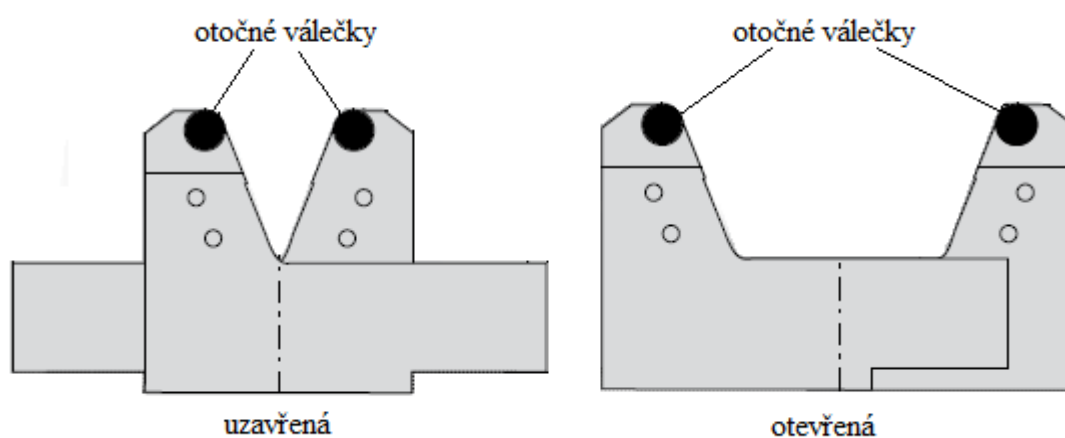
- Redukce otlaků na ohýbaném plechu
- Nedochází ke znečištění ohýbaných dílů
- Zvýšení kvality výroby
- Snadné použití
- Rychlá a jednoduchá výměna

Plastová matrice

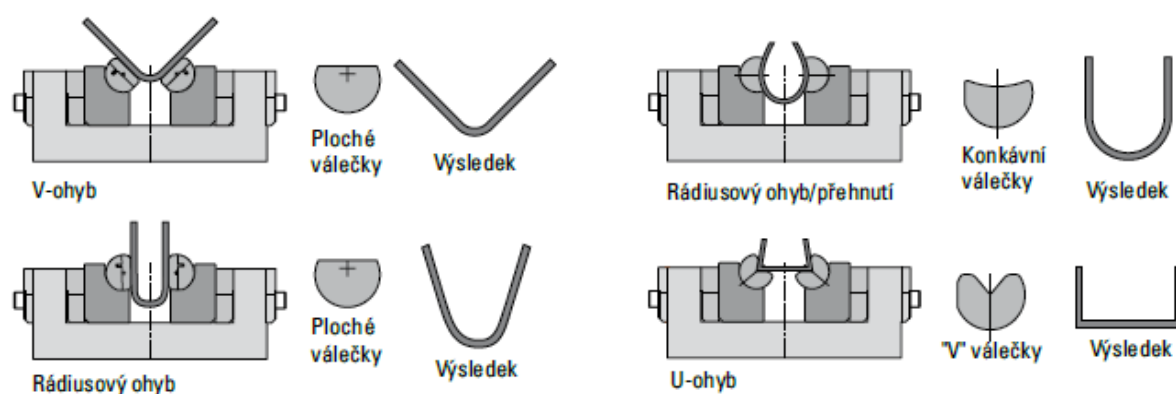
Držák plastové matrice



Kompozitní matrice pro ohyb bez otlaků

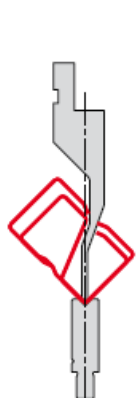


Stavitelná matrice s otočnými válečky

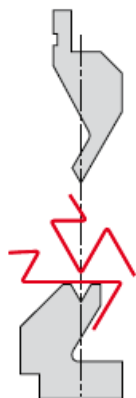


Stavitelné matrice s vyměnitelnými vložkami

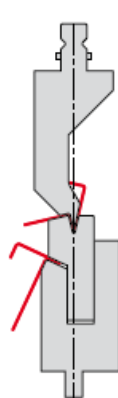
Příloha č. 11 Příklady nástrojů pro složité profily [15]



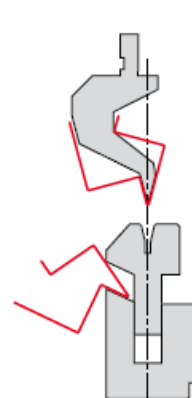
1. Horní nástroj a matrice pro speciální profil



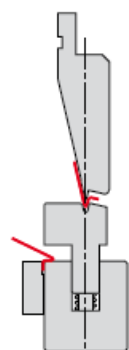
2. Horní nástroj a matrice pro speciální profil



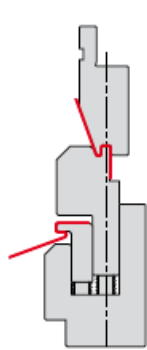
3. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí



4. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí



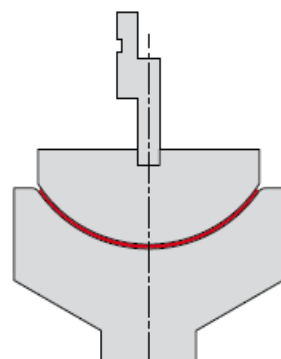
5. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí a jisticí lištou



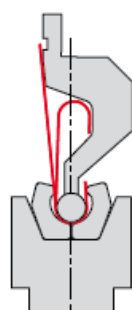
6. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou tvářecí maticí a přídržnou lištou



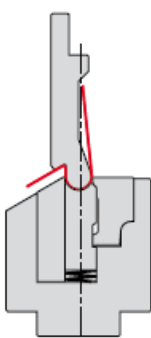
7. Přehyb a lemovací nástroj pro svorku



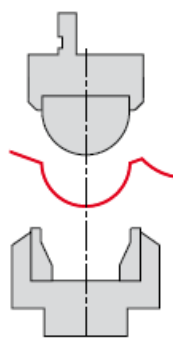
8. Rádiusový tvářecí nástroj



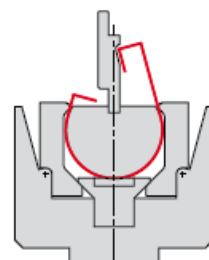
9. Rádiusový tvářecí nástroj s čelistmi pro přehnutí



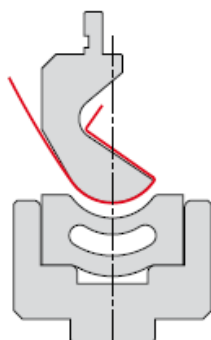
10. Rádiusový nástroj s čelistmi pro přehnutí a pružinovým vyhazovačem



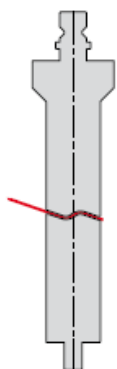
11. Rádiusový nástroj s nastavitelnými čelistmi



12. Rádiusový nástroj s čelistmi pro přehnutí a vyhazovačem



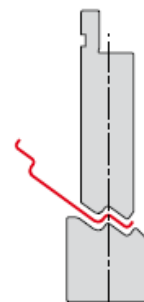
13. Rádusový nástroj
ohýbající do PU-vložky



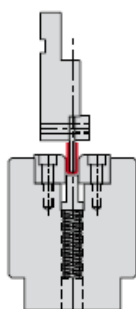
14. Ohraňovací "Z" nástroj



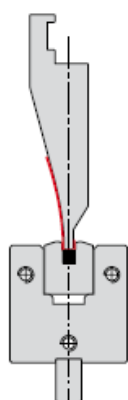
15. Ohraňovací "Z" nástroj
pro vícenásobné ohyby



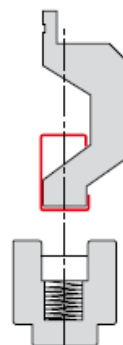
16. Ohraňovací "Z" nástroj
s dalším lemem



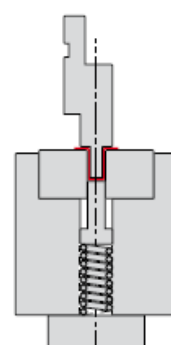
17. Nástroj pro "U" profil s
ocelovými proužky a odpruženým
vyhazovačem v matrici,
výměnnými noži (dily podléhající
opotřebení lze vyměnit)



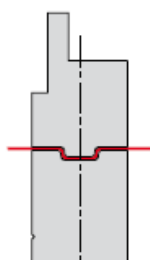
18. Nástroj pro "U" profil
s PU-vložkou a zpětným
tlakem formující podle
horního nástroje



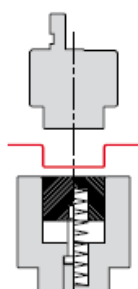
19. Nástroj pro "U" potažmo
"C" profil na dva zdvihy s
odpruženým vyhazovačem



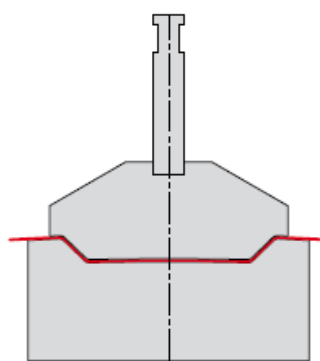
20. Cylindrický ohraňovací
nástroj s ocelovými
proužky a s pružinovým
vyhazovačem



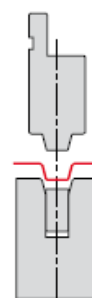
21. Nástroj pro cylindrický
profil



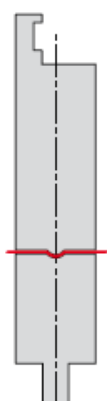
22. Nástroj pro cylindrický
profil s pružinovým
vyhazovačem



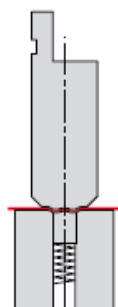
23. Nástroj formující
velký trapézový profil



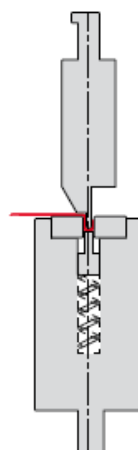
24. Nástroj formující
trapézový profil s
pružinovým vyhazovačem



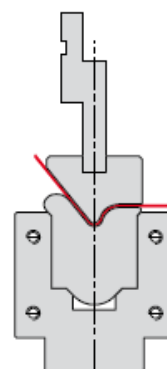
25. Nástroj pro kulatě výztuhy



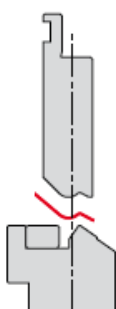
26. Nástroj pro dvoji kulatě výztuhy s pružinovým vyhazovačem



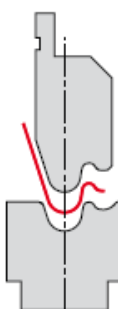
27. Tvářecí nástroj pro spony s pružinovým vyhazovačem a ohýbacími proužky



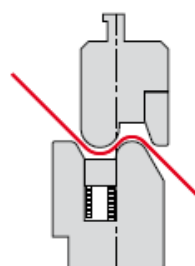
28. Tvářecí nástroj do PU-v kopírující horní nástroj (otlaků)



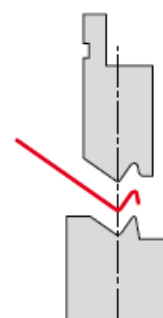
29. Tvářecí nástroj s nastavitelnou lištou v matici



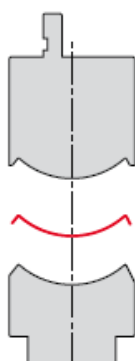
30. Tvářecí nástroj pro "Z" ohyb s různými radii



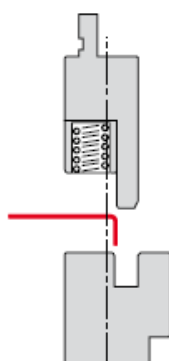
31. Nastavitelný "Z" nástroj s pružinovým vyhazovačem



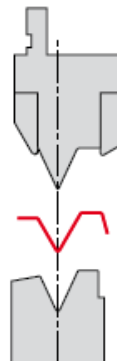
32. Tvářecí nástroj pro několika násobný ohyb jeden zdvih



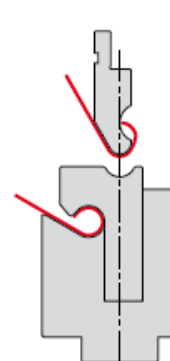
33. Lisování velké radiusové kontury s krátkými lemy



34. Nástroj pro přehyb

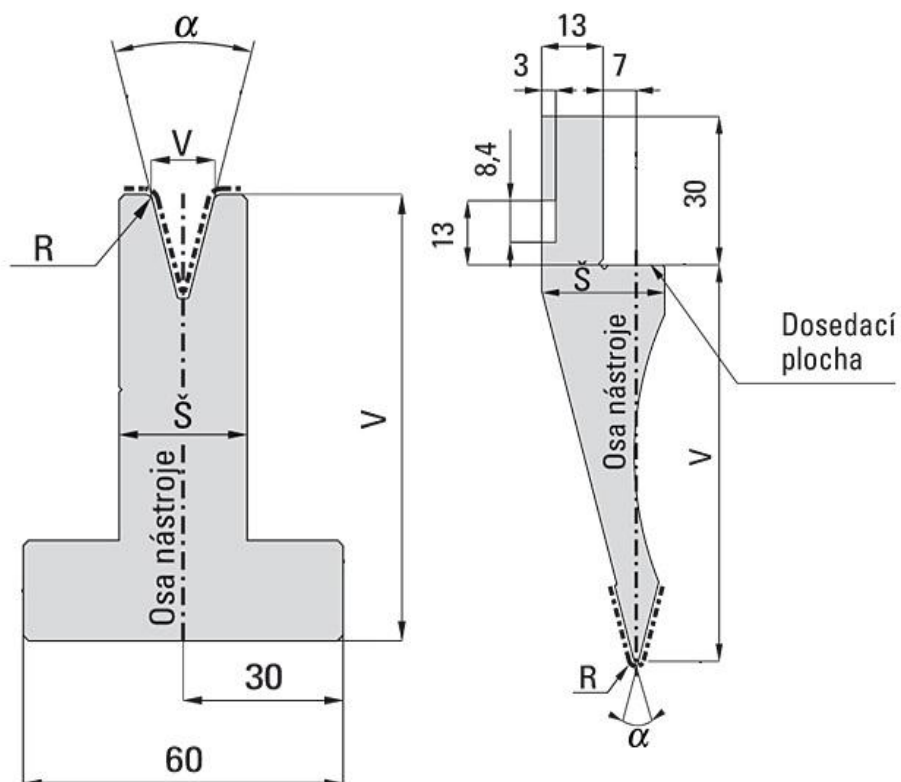


35. Tvářecí nástroj s nastavitelnými čelistmi na horním nástroji

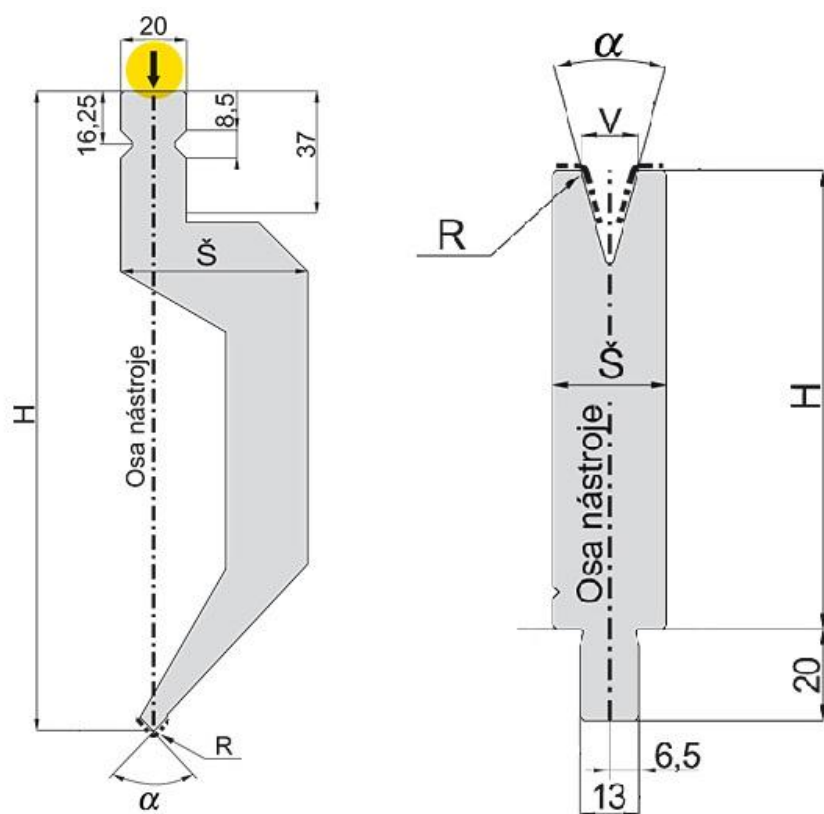


36. Nástroj pro pant

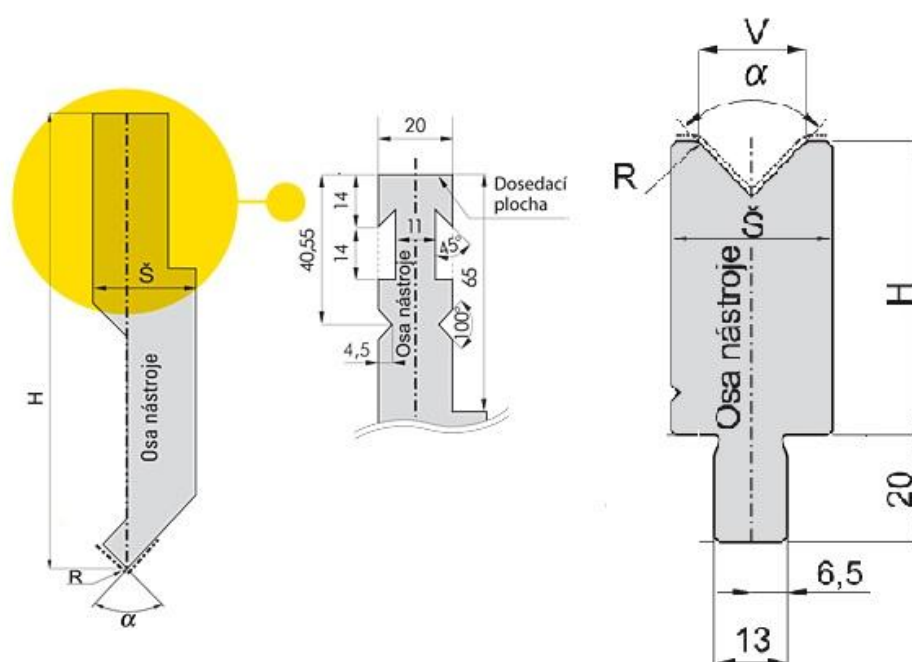
Příloha č. 12 Typy upínání [15]



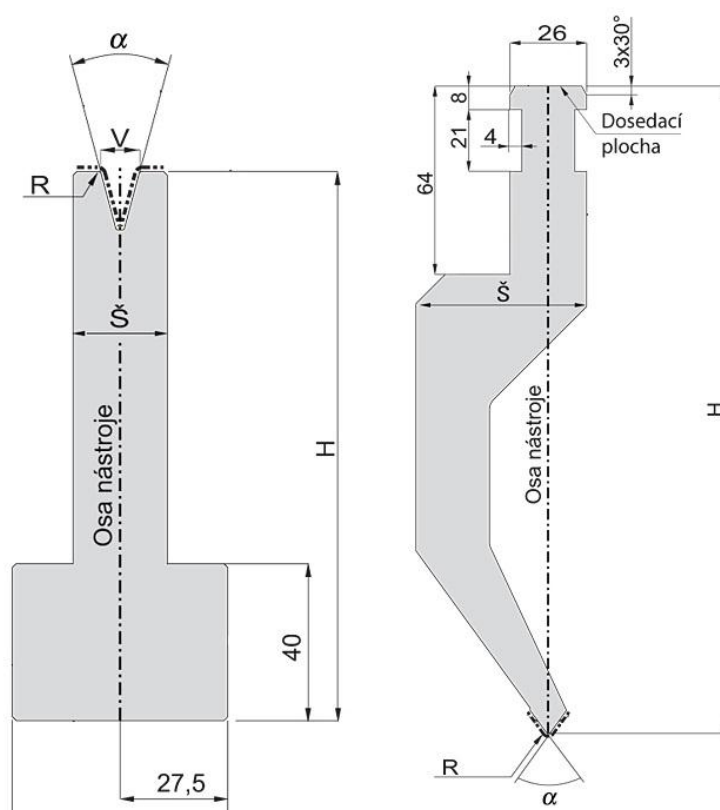
System upínání A (Amada)



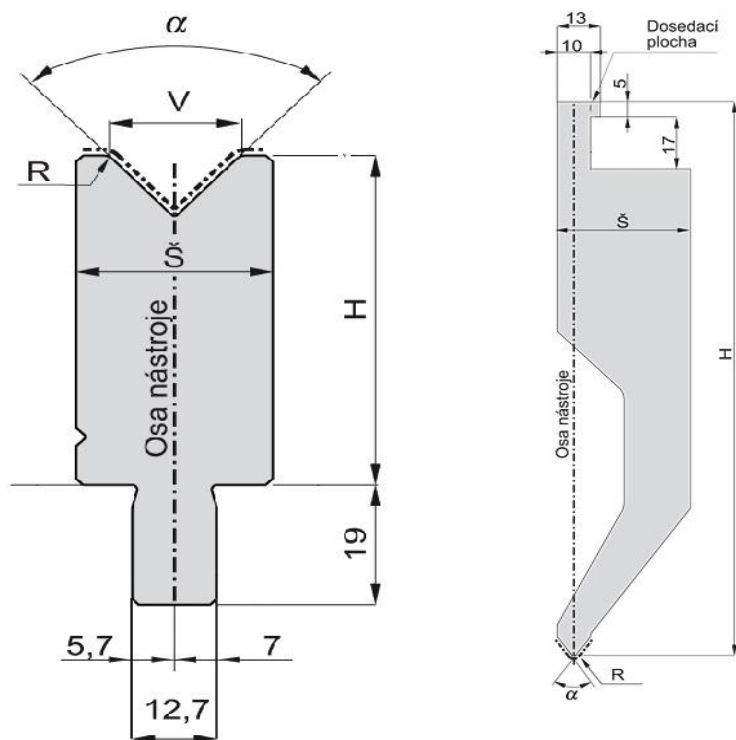
System upínání B (Trumpf)



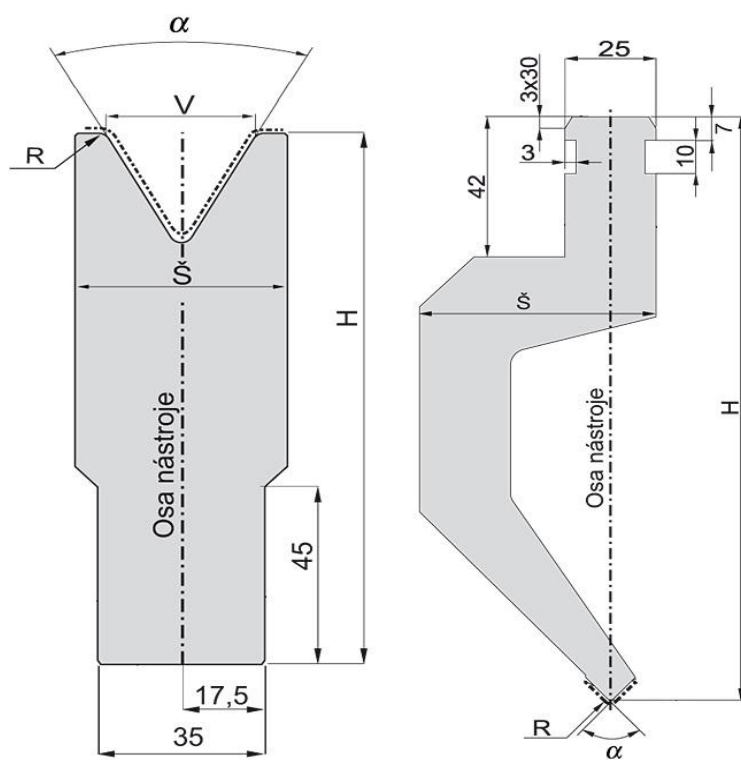
Systém upínání C (Bystronic)



Systém upínání E (EHT)



Systém upínání L (LVD)



Systém upínání W (Weinbrenner)

Příloha č. 13 Nastavovací plán pro zvolenou výrobní variantu (č. 1)

TRUMPF



NASTAVOVACÍ PLÁN OBECNÉ UDAJE

 20.12.2016
 TruTops Punch
 V10.00.00

STROJ:	TruPunch 1000 (S05) - TYP: 2 (2500.0 x 1250.0 mm)
SYSTEM RIZENÍ:	Bo PNC-P VARIANTA: 1
Firma:	
NAZEV ZAKAZKY:	nastrihovy plan1
CESTA PROGRAMU NC:	C:\ TRUMPF.NET\ WORKFILES\....\ 1800-03-01\ 1800-03-01.LST
NAZEV PROGRAMU:	NASTRIHOVY_PLAN_B (NASTRIHOVY PLAN_B)
ID MATERIALU:	1.4301-10 (1.4301)
ID zboží na sklade:	
PRIREZ:	2500 x 1250 x 1 mm
HMOTNOST:	24.69 kg
STROJNÍ ČAS	1 : 51 : 21 [h:min:s]
POTREBA PAMETI:	57305 ZNAK
CELKOVÁ DÉLKA LASEROVÉHO REZU:	0.000 mm
POCET PROGRAMOVÝCH CYKLU:	1
PROREZ:	38.88 %

VÝROBNÍ INSTRUKCE

POLOHY CHAPADEL:	8 13
DORAZOVÝ ČEP:	1 ZLEVA
POCATEČNÍ BOD:	X = 240.000 mm, Y = 140.010 mm
POZNAMKY:	

SEZNAM NASTROJU

IDENT.C.	TYP	ROZMER 1	ROZMER 2	ROZMER 3	UHEL	POZNAMKA	WT	MT	LW	ZDVIHY	KT*	Otocný stul**
01020000	1	2.000	0.000	0.000	0.000	kulatý 2mm	0	1	0	264	1	0
08110030	8	11.000	3.000	0.000	0.000	Podélník 11.0x 3.0mm	0	1	0	18084	2	0
13037030	13	3.700	3.700	0.000	0.000	Prutah M4 u.	0	1	0	264	1	0
05037000	5	4.000	3.700	0.000	0.000	M4 jádrový otvor 3.7mm	0	1	0	264	1	0
04762051	4	76.200	5.000	0.000	0.000	Obdélník 76.2x5mm	1	1	0	484	1	0

POCET OCEL-/RTC-/VELIKOST 5-KAZETY 4 / 1 / 0

* Typ kazety: 1 = Ocel, 2 = RTC, 3 = Velikost 5

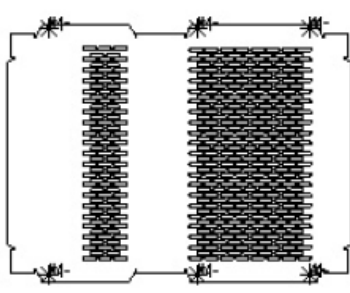
** Typ matrice: 0 = Standard, 1 = Zkoseno, 2 = Integrované vyrovnávání

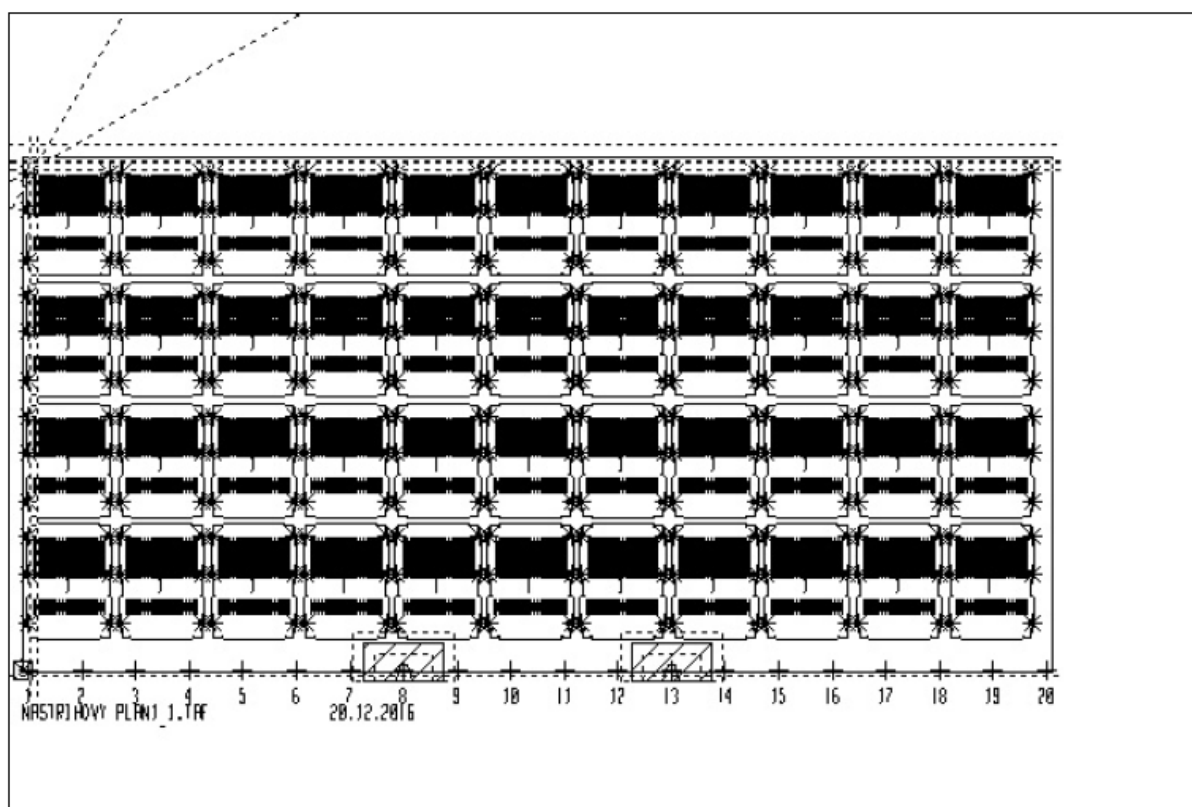
PTT	IDENT.C.	POZNAMKA	DU	HU	SOFTPUNCH
PTT-1	05037000	M4 jádrový otvor 3.7mm	2.000	0.000	0
PTT-2	01020000	kulatý 2mm	0.000	0.000	0
PTT-3	08110030	Podélník 11.0x 3.0mm	0.000	0.000	0
PTT-4	13037030	Prutah M4 u.	0.000	0.000	0
PTT-5	04762051	Obdélník 76.2x5mm	0.000	0.000	0

TECHNOLOGICKE TABULKY

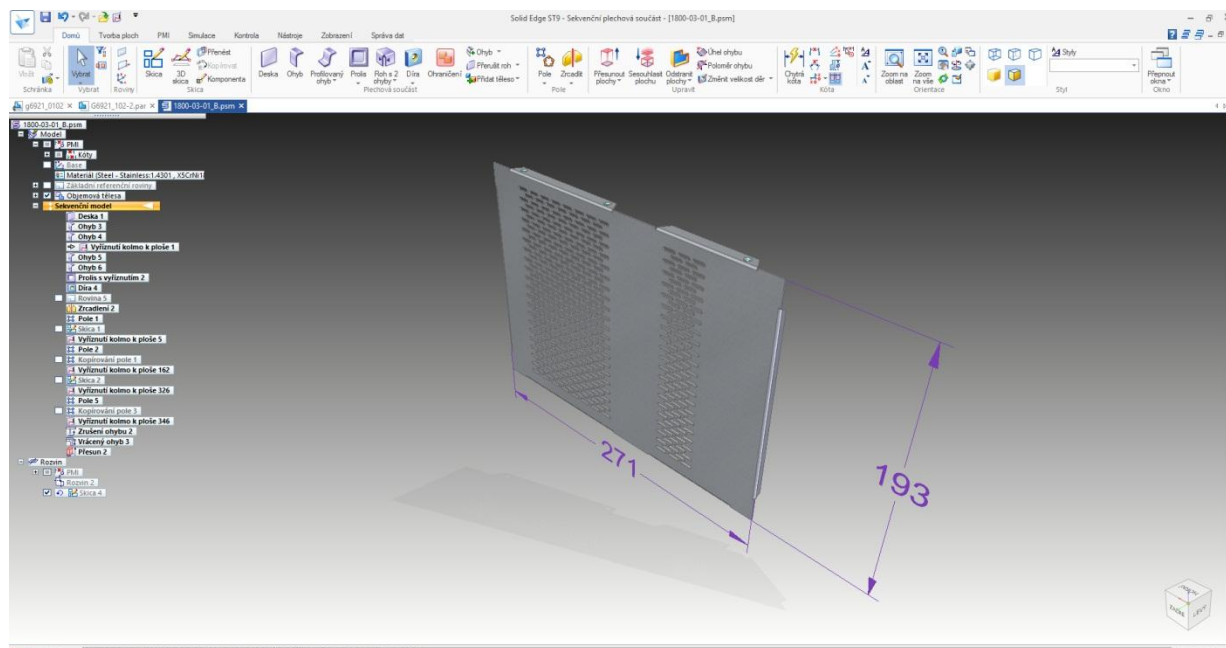
CISLO	DRUH VPICHOVANI	DRUH REZANI	DRUH OBRYSU
-------	-----------------	-------------	-------------

INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH

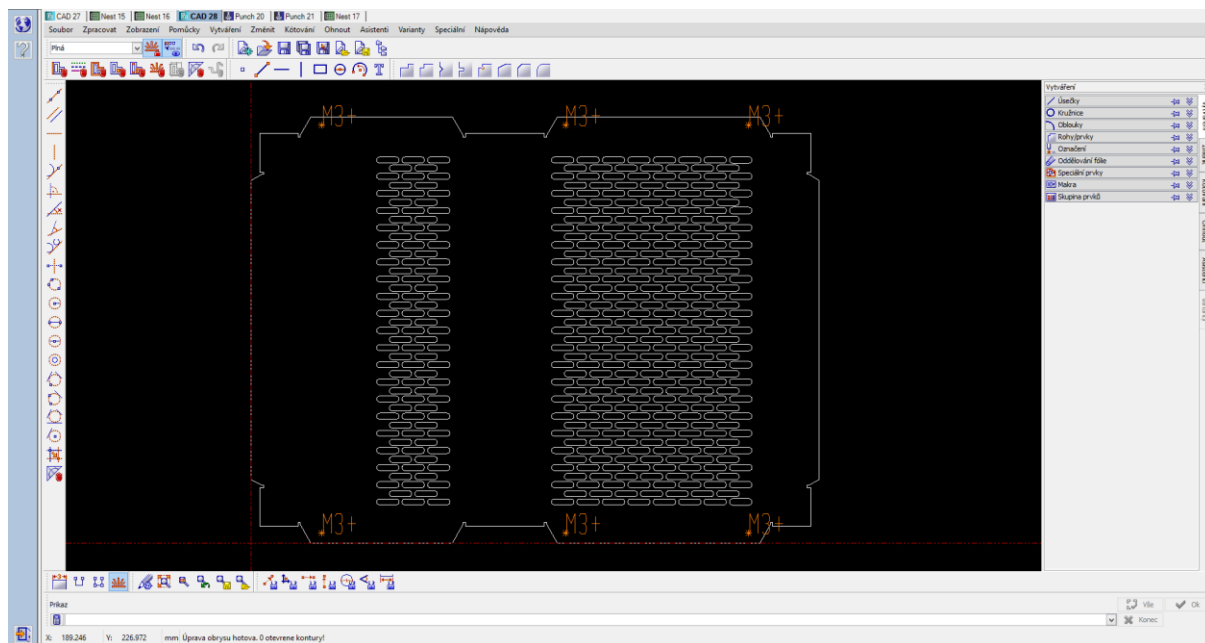
	CÍSLO DÍLU:	1
	CÍSLO VÝKRESU:	1800-03-01
	NAZEV VÝKRESU:	
	JMENO ZAKAZNIKA:	
	POČET:	44
	ROZMERY:	279.4 x 209.4 mm
	PLOCHA:	43411.99 mm ²
	HMOTNOST:	0.343 kg
	DOBA ZPRACOVÁNÍ:	2.53 min
	LASEROVÁ DÉLKA REZÁNÍ:	0.000 mm
	NAZEV GEOM: SOUBORU	C:\TRUMPF.NET\Workfiles\...\1800-03-01\1800-03-01.GEO
	CÍSLO KONTEJNERU:	



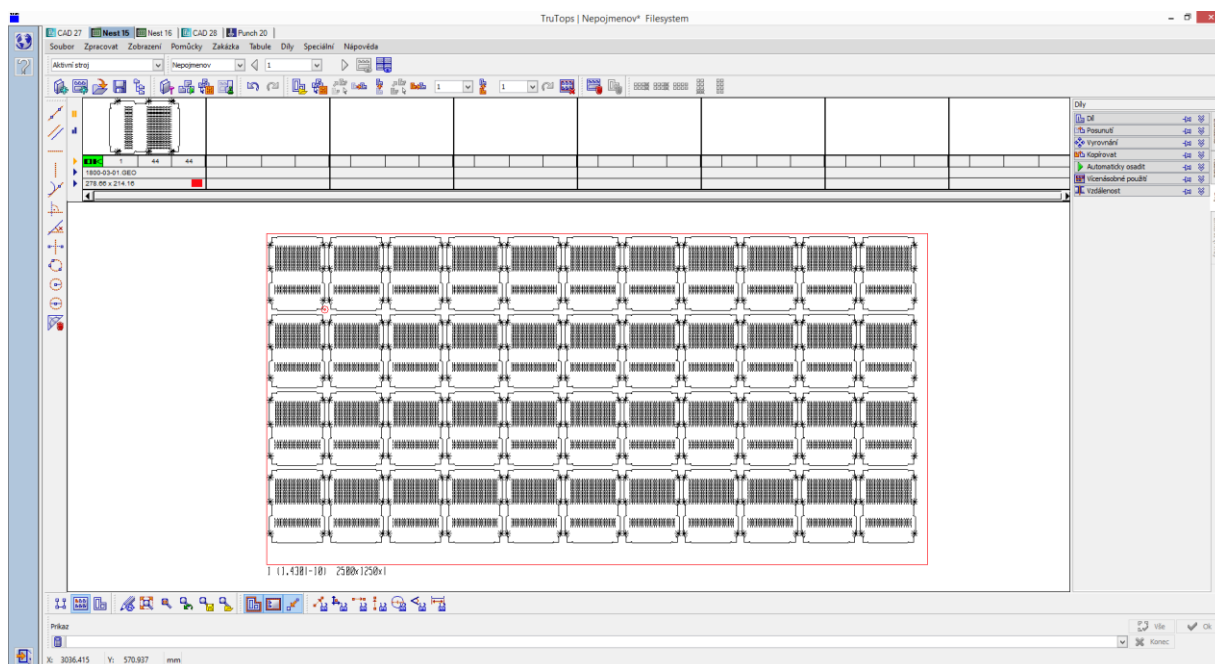
Příloha č. 14 Prostředí použitých softwarů



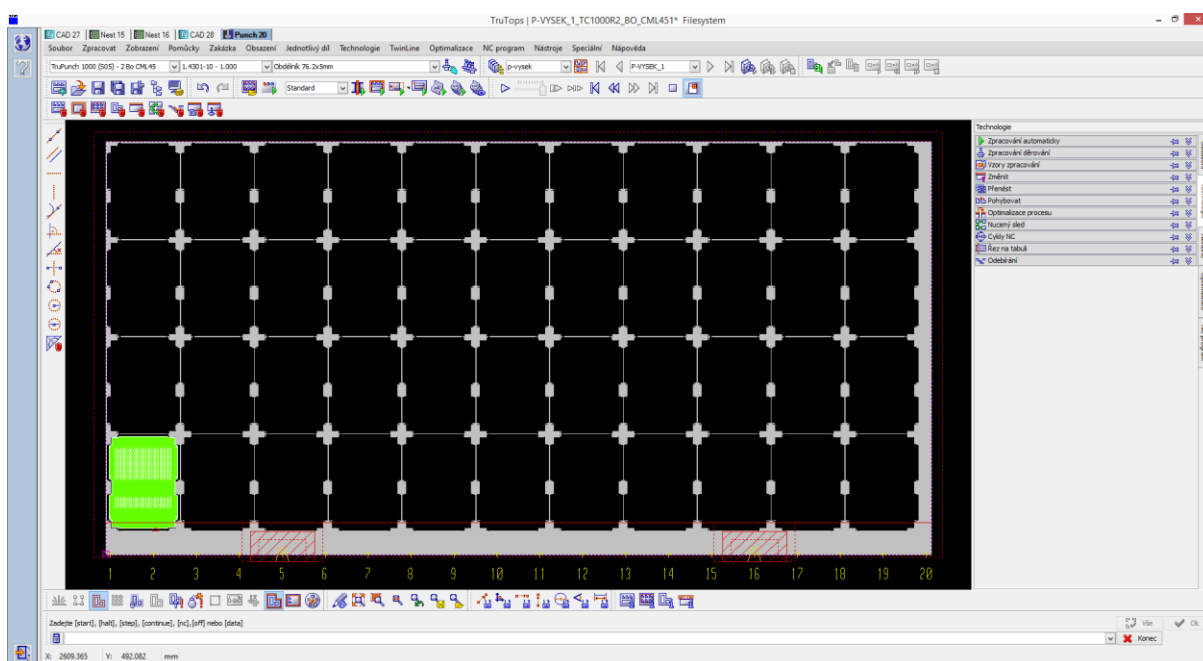
SolidEdge ST9



TruTops CAD



TruTops Nest



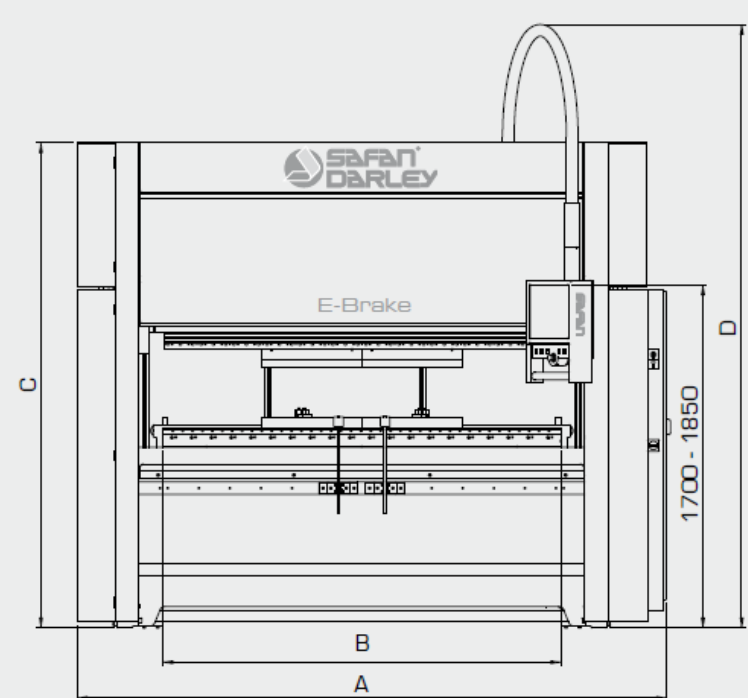
TruTops Punch

Příloha č. 15 Technická data stroje TruPunch 1000

Technická data		
	TruPunch 1000 malý formát	TruPunch 1000 střední formát
Pracovní rozsah (X x Y)	2050 x 1250 mm	2500 x 1250 mm
Výkony		
Max. tloušťky plechu	6,4 mm	6,4 mm
Max. lisovací síla	165 kN	165 kN
Max. síla přidržování	10 kN	10 kN
Max. hmotnost obrobku	150 kg	150 kg
Rychlosti		
Osa X	80 m/min	80 m/min
Osa Y	55 m/min	55 m/min
Simultánně (X a Y)	97 m/min	97 m/min
Osa C	180 otáček/min	180 otáček/min
Max. počet zdvihů při vysekávání (E = 1 mm)	600 1/min	600 1/min
Max. počet zdvihů při značení	1300 1/min	1300 1/min
Max. zrychlení^[1]		
Osa X	10 m/s ²	10 m/s ²
Osa Y	5 m/s ²	5 m/s ²
Osa C	175 rad/s ²	175 rad/s ²
Nástroje		
Lineární zásobník	15 nástrojů při 2 upínkách (opce 3. upínka)	18 nástrojů při 2 upínkách (opce 3. upínka)
Počet při použití nástroje MultiTool	15 – 150	18 – 180
MultiTool	5-/10-násobný	5-/10-násobný
Časy výměny nástrojů		
Jednotlivý nástroj	4,4 s	4,4 s
MultiTool	2,2 s	2,2 s
Přesnost^[2]		
Poziční odchylka Pa	±0,1 mm	±0,1 mm
Střední rozptyl pozice Ps	±0,03 mm	±0,03 mm
TRUMPF CNC řízení	Bosch PNC	Bosch PNC
Programování klapky na díly		
Max. velikost dílu při pevném skluzu	180 x 150 mm	180 x 150 mm
Max. velikost dílu s posuvným stolem	460 x 500 mm	460 x 500 mm
Potřebné místo^[3]		
Včetně bezpečnostních závor	6000 x 5825 mm	6550 x 5837 mm
Příkon		
Střední příkon	7 kW	7 kW
Pohotovostní režim	0,7 kW	0,7 kW

Technická data stroje TruPunch 1000

Příloha č. 16 Ohraňovací lis Safan Darley E-Brake E-100 [28]

Tonnage	100	
BowLength	3100	
Pressure force in kN	1000	
Maximum stroke in mm	300	
Q-dimension in mm	590	
Closing speed in mm/sec	75	
Bending speed max. in mm/sec	10	
Return speed in mm/sec	75	
Motor power in kW	11	
Weight in kg	6350	

Technická data stroje Safan Darley E-Brake E-100



Ovládací panel stroje

Příloha č. 17 Specifikace povrchu plechových tabulí dle EN 10 088-2 [14]

Značení	VÝROBNÍ POSTUP	VZHLED
1U	Za tepla válcovaný, nežíhaný, zokujený	Zokujený
1C	Za tepla válcovaný, žíhaný, zokujený	Kovově poločistý
1E	Za tepla válcovaný, žíhaný, mechanicky odkujený	Kovově čistý
1D	Za tepla válcovaný, žíhaný, mořený	Kovově čistý
2H	Za studena válcovaný, kalený	Lesklý
2C	Za studena válcovaný, žíhaný, zokujený	Kovově poločistý
2E	Za studena válcovaný, žíhaný, mechanicky odkujený	Hrubý, matný
2D	Za studena válcovaný, žíhaný, mořený	Matný
2B	Za studena válcovaný, žíhaný, mořený, doválcovaný	Matně lesklý
2R	Za studena válcovaný, leskle žíhaný, doválcovaný	Zrcadlově lesklý
2G	Broušený, charakter opracování nutno specifikovat	Broušený
2J	Kartáčovaný nebo leštěný, nutná specifikace	Kartáčovaný, leštěný
2P	Zrcadlově leštěný	Zrcadlově lesklý
2M	Vzorovaný, dekorační	Podle vzoru
2W	Profilově vzorovaný	Podle vzoru

Příloha č. 18 Laserový stroj TruLaser 3030 [43]

TruLaser 3030 TruFlow 3200					
Working range		Accuracy⁽¹⁾		Max. sheet thickness	
X axis	3000 mm	Position deviation P_a	0.05 mm	Mild steel	20 mm
Y axis	1500 mm	Average position scatter $P_{s \max}$	0.03 mm	Stainless steel	12 mm
Z axis	115 mm	Dimensions and weight		Aluminum	8 mm
Workpiece		Length	9300 mm	Copper	–
Max. weight	900 kg	Width	4700 mm	Max. power	3200 W
Max. speed		Height	2200 mm	Wavelength	10.6 μm
Simultaneous	140 m/min	Weight	12000 kg	Average power consumption during production	29 kW

Vybraná data stroje TruLaser 3030



TruLaser 3030

Příloha č. 19 Nastavovací plán pro výrobní variantu č. 3

TRUMPF



NASTAVOVACÍ PLÁN

OBECE NE UDAJE

Kudlac
08.03.2017
TruTops Laser V12.04.00

STROJ:	TruLaser 3030 (L3030) (MAX.VYKON LASERU 3200 WATT)
SYSTEM RIZENI:	Sin 840D
Firma:	
NAZEV ZAKAZKY:	program
CESTA PROGRAMU NC:	C:\ TRUMPF.NET\ WORKFILES\....\ 1800-03-01\ 1800-03-01.LST
NAZEV PROGRAMU:	program_3 ()
ID MATERIÁLU (TABULE):	1.4301-10 (1.4301)
MATERIAL (TT):	1.4301-10 (1.4301)
ID zboží na skladě:	
SKLADOVACÍ MÍSTO	
PŘIREZ:	2500.00 x 1250.00 x 1.00 mm
MINIMÁLNÍ PŘÍŘEZ:	2355.40 x 1240.10 mm
SMER VÁLCE:	X
HMOTNOST:	24.69 kg
STROJNÍ CAS	9 : 34 : 43 [h:min:s]
POTREBA PAMETI:	253100 ZNAK
CELKOVÁ DELKA REZU:	1.1506e+006 mm
POCET PROGRAMOVÝCH CYKLU:	1
PROREZ:	39.03 %

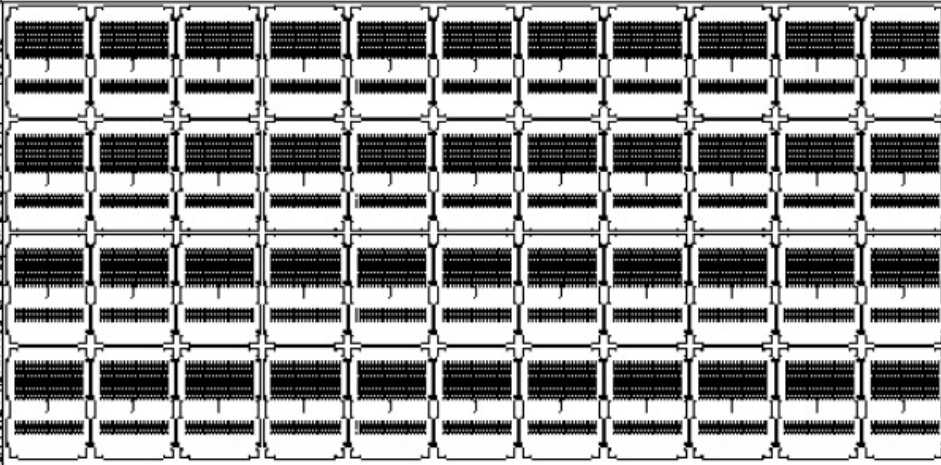
VYROBNÍ INSTRUKCE

PLECHOVÝ DORAZ	1
MIKROMŮSTKY, ZMĚNITELNÉ NA STROJI:	nenastaveno
NÁZEV OSAZENÍ OPĚRNÝCH LIŠT:	Standardní stroj, každý druhý nastaven
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH BODŮ NA OPĚRNÉ LIŠTĚ	38 mm
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH LIŠT:	67 mm
UPŘEDNOSTNIT ZPRACOVÁNÍ:	bez
POZNAMKY:	

INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH

	CISLO DILU:	1
	CISLO VYKRESU:	1800-03-01
	NAZEV VYKRESU:	
	JMENO ZAKAZNIKA:	
	POCET:	44
	ROZMERY:	279.4 x 209.4 mm
	PLOCHA:	43300.24 mm2
	NAZEV PRACOVNIHO PREDPISU:	T2D-5857-4
	CISLO PODPROGRAMU:	SP1program_3
	DOBA ZPRACOVANI:	13.05 min
	REZNA DELKA:	26150 mm
	HMOTNOST:	0.342 kg
	POCET VPICHOVACICH BODU:	418
	DOBA ZAPICHOVANI	41.80 s
	NAZEV GEOM:SOUBORU	C:\ TRUMPF.NET\ Workfiles\ ...\ 1800-03-01\ 1800-03-01.GEO

C:\TRIMET\ACT\WorkFiles\JP\grnpran\coronan_1.jpg 03.03.2017 16:01:16

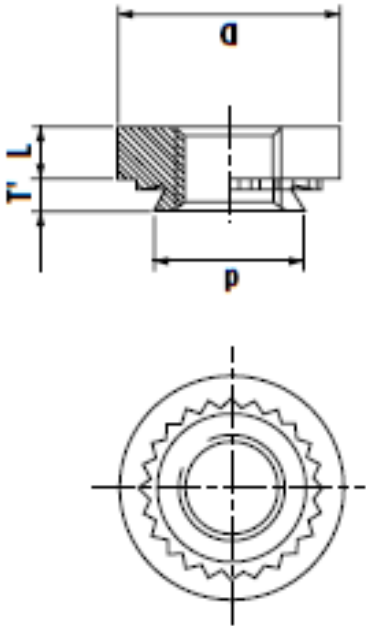


Příloha č. 20 Katalogový list matice IMPSP M4 [22]

IMPSP / LISOVACÍ MATICE DO NEREZU, NEREZOVÉ

Ornačení závitu	Velikost závitu	Typ krčku (T max)			Délka L ± 0.25						Doporučený otvor v plechu +0.08/-0	Průměr d max	Průměr D ± 0.25
		0	1	2									
M3	M3 X 0.5	0.76	0.97	1.37	1.5	-	-	-	-	-	4.25	4.22	6.3
M4	M4 X 0.7	0.76	0.97	1.37	-	2	-	-	-	-	5.40	5.38	7.9
M5	M5 X 0.8	0.76	0.97	1.37	-	2	-	-	-	-	6.40	6.38	8.7
M6	M6 X 1	-	1.37	-	-	-	-	4.1	-	-	8.75	8.72	11.1
440	#4-40	0.76	0.97	1.37	-	-	1.78	-	-	-	4.22	4.19	6.35
632	#6-32	0.76	0.97	1.37	-	-	1.78	-	-	-	4.78	4.75	7.11
832	#8-32	0.76	0.97	1.37	-	-	-	-	2.29	-	5.41	5.38	7.87
1032	#10-32	0.76	0.97	1.37	-	-	-	-	2.29	-	6.35	6.32	8.64
0420	1/4-20	-	1.37	-	-	-	-	-	-	4.32	8.74	8.71	11.18

SELF CLINCHING NUTS FOR STAINLESS STEEL / CNP



Příloha č. 21 Nastavovací plán pro výrobní variantu č. 4



NASTAVOVACÍ PLÁN OBECNÉ UDAJE

Kudlac
08.03.2017
TruTops Laser V12.04.00

STROJ:	TruLaser 3030 (L3030) (MAX.VYKON LASERU 3200 WATT)
SYSTEM RIZENI:	Sin 840D
Firma:	
NAZEV ZAKAZKY:	program
CESTA PROGRAMU NC:	C:\ TRUMPF.NET\ WORKFILES\....\ 1800-03-01\ 1800-03-01.LST
NAZEV PROGRAMU:	program_4 ()
ID MATERIÁLU (TABULE):	1.4301-10 (1.4301)
MATERIAL (TT):	1.4301-10 (1.4301)
ID zboží na skladě:	
SKLADOVACÍ MÍSTO	
PŘÍREZ:	2500.00 x 1250.00 x 1.00 mm
MINIMÁLNÍ PŘÍREZ:	2355.40 x 1240.10 mm
SMER VÁLCE:	X
HMOTNOST:	24.69 kg
STROJNÍ ČAS	4 : 55 : 04 [h:min:s]
POTŘEBA PAMETI:	136862 ZNAK
CELKOVÁ DELKA REZU:	575301 mm
POČET PROGRAMOVÝCH CYKLU:	1
PROREZ:	39.03 %

VÝROBNÍ INSTRUKCE

PLECHOVÝ DORAZ	1
MIKROMĚSTKY, ZMĚNITELNÉ NA STROJI:	nenastaveno
NÁZEV OSAZENÍ OPĚRNÝCH LIŠŤ:	Standardní stroj, každý druhý nastaven
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH BODŮ NA OPĚRNÉ LIŠTĚ	38 mm
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH LIŠŤ:	67 mm
UPŘEDNOSTNIT ZPRACOVÁNÍ:	bez
POZNAMKY:	

INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH

	CISLO DÍLU:	1
	CISLO VÝKRESU:	1800-03-01
	NAZEV VÝKRESU:	
	JMENO ZAKAZNIKA:	
	POČET:	44
	ROZMERY:	279.4 x 209.4 mm
	PLOCHA:	43300.24 mm ²
	NAZEV PRACOVNÍHO PŘEDPISU:	T2D-5857-5
	CISLO PODPROGRAMU:	SP1program_1
	DOBA ZPRACOVÁNÍ:	6.68 min
	REZNA DELKA:	13075 mm
	HMOTNOST:	0.342 kg
	POČET VPÍCHOVACÍCH BODŮ:	418
	DOBA ZAPÍCHOVÁNÍ:	41.80 s
	NAZEV GEOM:SOUBORU	C:\ TRUMPF.NET\ Workfiles\ ...\ 1800-03-01\ 1800-03-01.GEO

C:\TRIMPL_AKT\Work\Tiles\TFL\gruogan\gruogan_1.jpg 08.01.2017

